



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR

GRADO EN INGENIERIA MECANICA

TRABAJO FIN DE GRADO

**ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE DEPÓSITO Y SISTEMAS AUXILIARES
DE COMBUSTIBLE EN FÓRMULA 1.**

Alumno: Enrique Gatell Hernández.

Tutor: Sergio Sánchez Delgado

Julio 2017

Índice

1. Introducción.	1
1.1 Contexto del proyecto.....	1
1.2 Motivación del proyecto.	2
1.3 Estructura del proyecto.....	3
2. Objetivos.	5
3. Sistema de alimentación.	6
3.1 Sistema de alimentación de un automóvil.....	6
3.1.1 Vehículos gasolina	7
3.1.2 Vehículos diésel.....	12
3.2 Sistema alimentación Formula 1.....	17
4. Componentes sistema alimentación Formula 1.....	21
4.1 Combustible.	21
4.2 Depósito de combustible.	23
4.3 Colector.	26
4.4 Bombas.....	28
4.5 Válvulas.	31
4.5.1 Válvula anti-retorno de llenado.	31
4.5.2 Válvula de cierre automático.	32
4.5.3 Válvula de ventilación.	32
4.6 Caudalímetro.....	33
4.7 Canalizaciones.	35
4.7.1 Circuito baja presión.	35
4.7.2 Circuito de alta presión.	36
5. Diseño con CAD.	37
5.1 Introducción al CAD.....	37
5.2 Elementos diseñados en Solid Works.	39
6. Cálculos sistema alimentación y fuerzas sufridas en el depósito.	42
6.1 Caudal consumido.	42
6.2 Calculo de bombas de alimentación.	43
6.2.1 Teoría flujo de conductos.....	43

6.2.2 Cálculo de las bombas del sistema.....	47
6.3 Cálculo de fuerzas que sufre el depósito.	54
6.3.1 Cálculo de la fuerza de frenado.....	57
6.3.2 Cálculo de la fuerza de tracción.	59
6.3.3 Cálculo de la fuerza provocada por giro a izquierdas.	61
6.3.4 Cálculo de la fuerza provocada por giro a derechas.	62
7. Ansys.	64
7.1 Introducción Ansys.....	64
7.2 Análisis en el depósito de combustible.....	65
8. Resultados.....	70
8.1 Caso 1: Fuerza de frenado.....	70
8.2 Caso 2: Fuerza de Tracción.....	73
8.3 Caso 3: Fuerza provocada en el depósito cuando el vehículo realiza un giro hacia la izquierda.....	76
8.4 Caso 4: Fuerza provocada en el depósito cuando el vehículo realiza un giro hacia la derecha.....	79
9. Presupuesto.....	82
10. Conclusiones.....	83
11. Desarrollos futuros.....	85
12. Bibliografía.	86
Anexos.....	87

Índice de Figuras.

Figura 3.1 Esquema Sistema alimentación vehículo gasolina. (1)	7
Figura 3.2 Depósito de combustible. (2)	8
Figura 3.3 Filtro de combustible. (3)	8
Figura 3.4 Bomba de alimentación mecánica. (4).....	9
Figura 3.5 Filtro de aire. (5).....	10
Figura 3.6 Carburador. (6)	10
Figura 3.7 Funcionamiento del Carburador. (7)	11
Figura 3.8 Esquema sistema de alimentación motor Diésel. (8).....	12
Figura 3.9 Bomba eléctrica. (9)	14
Figura 3.10 Bomba de inyección lineal Bosch. (10).....	15
Figura 3.11 Inyector. (11)	16
Figura 3.12 Esquema interior del depósito. (12).....	18
Figura 3.13 Bomba alimentación (Bosch). (13)	19
Figura 3.14 Esponja interior depósito. (14).....	20
Figura 4.1 Composición combustible Fórmula 1. (15)	22
Figura 4.2 Depósito de aluminio. (16)	23
Figura 4.3 Material del depósito. (17).....	23
Figura 4.4 Elementos separadores en el interior del depósito. (18).....	24
Figura 4.5 Compuerta interior. (19)	25
Figura 4.6 Volumen depósito sin vaciado. (20).....	25
Figura 4.7 Volumen depósito con vaciado. (21).....	26
Figura 4.8 Colector. (22).....	27
Figura 4.9 Funcionamiento capacitador. (23)	27
Figura 4.10 Sensor de nivel de combustible Gill. (24)	28
Figura 4.11 Filtro de papel. (25)	29
Figura 4.12 Interior Bomba eléctrica. (26)	29
Figura 4.13 Bomba de alta presión. (27)	30
Figura 4.14 Bomba HDP F1. (28)	31
Figura 4.15 Válvula anti-retorno de llenado. (29).....	31
Figura 4.16 Válvula de cierre automático. (30).....	32
Figura 4.17 Válvula de ventilación. (31)	33
Figura 4.18 Funcionamiento Caudalímetro. (32)	34
Figura 4.19 Sensor Gill. (33)	34
Figura 4.20 Tubería de admisión al colector. (34).....	35
Figura 4.21 Circuito de alta presión. (35).....	36
Figura 5.1 Limitaciones en el diseño. (36).....	39
Figura 5.2 Parte delantera del depósito. (37)	40
Figura 5.3 Parte trasera del depósito. (38)	41
Figura 5.4 Colector de combustible. (39)	41
Figura 6.1 Diagrama de Moody. (40).....	46
Figura 6.2 Enunciado cálculo de potencia de la bomba. (41)	48
Figura 6.3 Enunciado cálculo de potencia de la bomba 2. (42)	52

Figura 6.4 Circuito Sochi (Rusia). (43)	55
Figura 6.5 Ejes de referencia. (44).....	55
Figura 6.6 Fuerzas producidas en la frenada. (45)	57
Figura 6.7 Fuerzas producidas en la aceleración. (46)	59
Figura 7.1 Mallado del depósito. (47)	67
Figura 7.2 Depósito con cargas estructurales fuerza 1. (48).....	68
Figura 7.3 Depósito con cargas estructurales fuerza 2. (49).....	68
Figura 7.4 Depósito con cargas estructurales fuerza 3. (50).....	69
Figura 7.5 Depósito con cargas estructurales fuerza 4. (51).....	69
Figura 8.1 Desplazamiento caso 1. (52)	70
Figura 8.2 Desplazamiento Caso 1: zona inferior del depósito. (53)	71
Figura 8.3 Deformación Caso 1. (54).....	71
Figura 8.4 Deformación Caso 1: Detalle en el soporte. (55)	72
Figura 8.5 Tensión Caso 1. (56)	72
Figura 8.6 Tensión Caso 1: Detalle en el soporte. (57).....	73
Figura 8.7 Desplazamiento Caso 2. (58).....	73
Figura 8.8 Deformación Caso 2. (59).....	74
Figura 8.9 Deformación Caso 2: Detalle anclaje. (60)	74
Figura 8.10 Tensión Caso 2. (61)	75
Figura 8.11 Tensión Caso 2: Detalle anclaje. (62)	75
Figura 8.12 Desplazamiento Caso 3. (63).....	76
Figura 8.13 Deformación Caso 3. (64).....	77
Figura 8.14 Deformación Caso 3: Detalle anclaje C. (65).....	77
Figura 8.15 Tensión Caso 3. (66)	78
Figura 8.16 Tensión Caso 3: Detalle anclaje C. (67)	78
Figura 8.17 Desplazamiento Caso 4. (68).....	79
Figura 8.18 Deformación Caso 4. (69).....	80
Figura 8.19 Deformación Caso 4: Detalle anclaje C. (70).....	80
Figura 8.20 Tensión Caso 4. (71)	81
Figura 8.21 Tensión Caso 4: Detalle anclaje C. (72)	81

Índice de Tablas.

Tabla 3.1 Diferencias en el motor de un vehículo utilitario. (1).....	6
Tabla 4.1 Componentes del petróleo. (2)	21
Tabla 7.1 Materiales del depósito. (3)	66
Tabla 9.1 Presupuestos del proyecto. (4).....	82

1. Introducción.

1.1 Contexto del proyecto.

El sistema de alimentación, como su nombre indica, es el encargado de suministrar combustible al motor de combustión.

Es indispensable en cualquier automóvil, sin él no existiría ningún tipo de vehículo propulsado por un motor de combustión, pues al no llegar combustible al motor no se produciría la combustión interna en el interior del cilindro. No movería los pistones que hacen girar el cigüeñal por medio de las bielas y finalmente el giro del cigüeñal no movería las ruedas que son las encargadas de proporcionar el desplazamiento deseado en el automóvil. Por tanto se puede considerar este sistema vital para el objetivo de un vehículo, el desplazamiento. (Obviando los coches que son totalmente eléctricos que carecen de este sistema)

El sistema de alimentación está compuesto por un depósito el cual se encarga de almacenar el combustible. La complejidad tanto del diseño como de sus materiales dependerá del tipo de vehículo. Existe la necesidad de unas bombas que son las encargadas del movimiento del combustible en el sistema. Este combustible se desplaza por el interior de unas canalizaciones superando unas válvulas cuya misión más importante es el apartado de la seguridad. En caso de accidente dichas válvulas son las que evitarán posibles fugas del combustible tanto al exterior del monoplace como a lugares en los cuales podría ponerse en riesgo la vida del piloto, como por ejemplo, la cabina.

Este proyecto se centrará en la Fórmula 1 y se citarán todos los elementos que participan en este sistema con su correspondiente explicación. También se comentarán algunas de las principales diferencias que existen respecto a los coches comerciales.

Al realizar un proyecto de esta índole cabe destacar que existe la gran ventaja de que el presupuesto no es lo más importante en este tipo de estudios. Siempre y cuando se justifique una mejora con el trabajo, se podrán utilizar los materiales más innovadores y exclusivos y sistemas o elementos que mejoren el rendimiento del proyecto.

En cambio también existe una desventaja referente a los vehículos de competición y es que hay una gran confidencialidad en este sector, aun si cabe más en la Fórmula 1 que se supone que es el más importante en el mundo de los vehículos de competición. No es sencillo poder acceder a la información a la hora de poder realizar un estudio profundo de cualquier componente o sistema que esté involucrado.

La importancia de la Fórmula 1 es incalculable en el mundo automovilístico. Si echásemos la vista atrás y nos fijásemos en los primeros automóviles, podemos observar enormes diferencias.

Un ejemplo son los materiales:

En la F1 siempre se ha buscado aligerar el coche. Para ello se han utilizado materiales como el aluminio o en los últimos años la fibra de carbono, capaz de soportar tensiones mayores y

tener a su vez una densidad menor. Se estima que alrededor del 80% del monoplaza está hecho de fibra de carbono. [1]

Dichos materiales no son siempre llevados al vehículo comercial. Pese a que su eficiencia es indudable, encarecería el precio y no será viable en el mercado.

La simple competición que existe por ganar carreras y campeonatos, junto a la gran cantidad de marcas, recursos (una media de 170 millones) y personal involucrado provocan una mejora continua que puede ser luego aplicada a los vehículos de uso particular.

Algunos ejemplos de dichos avances y en un ámbito muy importante como el de la seguridad serían el uso de trajes ignífugos, cascos y cinturones de seguridad, que sin ninguna duda han salvado vidas dentro y fuera de los circuitos.

Para finalizar la pequeña introducción se hace mención a la FIA (Federación Internacional del Automóvil), la encargada de crear una normativa y que se aplique en la competición. Se cita dicho organismo porque a lo largo del proyecto se nombrarán algunas de las leyes que están implantadas y así será más fácil la comprensión de lo redactado.

1.2 Motivación del proyecto.

El mundo del automóvil, especialmente la Fórmula 1, sufre una constante actualización de productos que son posteriormente utilizados en el mercado. El uso de estos avances no solo se aplica en el sector automovilístico; sino en otros muchos sectores como el aeronáutico, naval, aeroespacial, etc.

En el desarrollo de productos e investigaciones en el mundo de la competición participa una gran cantidad de personas destinadas a que esta tarea sea lo más productiva posible, sacrificando mucho para poder llegar a formar parte de ello.

También cabe destacar que a pesar de ser muy difícil formar parte de un sector de estas características es aún más difícil el poder mantener una carrera extensa y exitosa en dicho ámbito, debido a que el mundo competitivo está basado en resultados y objetivos los cuales no son siempre posibles de cumplir. Un fallo en este sector suele ser motivo suficiente para no formar parte de él.

Este proyecto abarca novedades que en un futuro pueden ser útiles y aprovechadas en el vehículo convencional, como por ejemplo la implantación en el diseño interior del depósito, el cual se compone de unas cámaras donde el combustible se almacena y evita el posible movimiento del mismo por medio de elementos separadores denominados flags.

En este estudio las técnicas utilizadas son realizadas por ordenador mediante aplicaciones de diseño y simulación. Estas técnicas tratan de reducir presupuesto en la fabricación. Una vez probado que este estudio tiene los resultados buscados se efectuaría la fase de fabricación.

Un método muy empleado que reduce el coste del diseño y fabricación de cualquier producto es el análisis por el método de elementos finitos (MEF). La aplicación que hemos usado en este proyecto, basa su análisis en el método citado, es conocida como ANSYS.

El proceso es el siguiente: el diseño se realiza por medio de CAD (computer design-aided) y posteriormente se simula por el método de elementos finitos. Para esto se necesita un software de ingeniería asistida conocida como CAE (computer-aided Engineering).

Estas aplicaciones se utilizan en el sector de la ingeniería para simular sólidos o conjuntos (sólidos compuestos por varias piezas), y así evitar su previa fabricación en caso de no alcanzar los resultados requeridos.

Las simulaciones son solo aproximaciones que se acercan a la realidad pero no son soluciones reales. Estas se obtienen al ensayar con los prototipos reales. No obstante, al tener un resultado bastante similar al real, las simulaciones nos permiten poder hacer muchas modificaciones y ajustes previos al prototipo, para así evitar fallos de fabricación y el coste en correspondiente.

En lo referente al proyecto y con los programas mencionados se realizará el diseño del sistema de alimentación de combustible en un Formula 1.

Se diseñará el depósito y sus componentes, siempre teniendo en cuenta las normas referentes a esta competición y teniendo especial cuidado en aquella reglamentación que afecta explícitamente al desarrollo de componentes como bombas, combustible, material del depósito, etc. Esto último traducido en el anexo perteneciente a reglamentación de la Fórmula 1.

1.3 Estructura del proyecto.

El proyecto se dividirá en varios capítulos. La introducción abarcará los diferentes tipos de vehículos utilitarios, en lo que atiene al proyecto una introducción al sistema de alimentación para un monoplaza de Fórmula 1. Posteriormente se realizará una explicación más detallada del sistema de alimentación y sus principales componentes, seguido de la parte de diseño mediante CAD. A continuación se realizará el cálculo de las bombas apropiadas para este proyecto y las posibles fuerzas a las que estará sometido el depósito (por ejemplo: las provocadas por una frenada o una aceleración). Más tarde se expondrá un análisis por el método de elementos finitos. Por último se citarán las conclusiones del estudio, posibles desarrollos futuros y su presupuesto final.

El primer capítulo constará de una breve introducción al ámbito de la competición junto con una mención de aplicaciones en la Formula 1 que se han aplicado en los vehículos comunes, además de una posible aplicación en un futuro en el diseño interior del depósito de los vehículos utilitarios.

El segundo capítulo tratará de los objetivos con los que se realiza el proyecto. Acompañado de una pequeña introducción de los diferentes tipos de software que se han utilizado.

El tercer capítulo contiene una explicación del proceso del sistema de alimentación en vehículos comerciales y sus principales diferencias entre aquellos que utilizan gasolina respecto a los que usan diésel, finalizado con una introducción del funcionamiento del sistema en un Fórmula 1.

En el cuarto capítulo se explican los principales componentes del sistema de alimentación, su ubicación y principales funciones. Este apartado abarca elementos con una gran cantidad de especificaciones que serán aportadas al final en modo de anexos.

El quinto apartado es el encargado de hablar de la fase de diseño, con una pequeña introducción a las aplicaciones CAD y en particular a Solid Works. Posteriormente se compone de las consideraciones que se han tomado para poder cumplir la normativa de diseño. Esta última será adjuntada en forma de anexo al final del proyecto.

El sexto capítulo será el correspondiente a los cálculos del sistema. En dicho apartado se calcula las bombas requeridas para nuestro proyecto y el caudal máximo determinado por normativa y las fuerzas sufridas por el depósito dentro de un circuito de Fórmula 1.

El séptimo apéndice estará compuesto de una pequeña introducción a los métodos de aproximación numérica y la simulación por medio de Ansys del depósito, explicando paso a paso el proceso efectuado.

El octavo apartado es el que abarca los resultados obtenidos en la simulación de nuestro depósito. Con una pequeña explicación de los resultados mostrados, con sus detalles incluidos en el depósito.

En el noveno capítulo se encuentran los presupuestos requeridos para la realización de dicho estudio. A pesar de no realizarse el estudio debe tenerse en cuenta los gastos que producen en el proyecto.

El décimo apéndice y más importante es el de las conclusiones y la viabilidad del proyecto. Comentando con una breve explicación de los objetivos desarrollados y sus conclusiones.

El Undécimo apartado trata de los posibles futuros proyectos que se pueden realizar en relación al presente estudio.

El último apartado está dedicado a la bibliografía utilizada.

2. Objetivos.

EL proyecto se ha realizado utilizando dos softwares distintos, tanto en la parte del diseño como la de simulación:

1. EL primer software es Solid Works. es un programa CAD (computer-aided design) encargado de toda la parte del diseño del proyecto.
2. El segundo programa es ANSYS, un programa encargado de simular comportamientos en un sólido por medio del ensayo con herramientas MEF (método elementos finitos).

Los objetivos del proyecto son los siguientes:

- Diseño apropiado del depósito de combustible, teniendo en cuenta sus limitaciones impuestas en la normativa.
- Diseño interior en el depósito, mediante el uso adecuado de cámaras para evitar la posible falta de alimentación en las bombas y que el movimiento del combustible afecte lo menos posible en el comportamiento del coche.
- Calculo de bombas, tanto de alimentación al colector, como el cálculo de la bomba de alta presión encargada de alimentar al motor.
- Estudio del comportamiento estructural del depósito frente a frenadas, aceleraciones y curvas realizadas en un circuito.

3. Sistema de alimentación.

Los dos tipos de sistemas de alimentación que se van a explicar son el correspondiente a un vehículo utilitario y a un vehículo de competición. Dentro del primer grupo existen dos posibles variaciones y algunas diferencias de elementos en cada sistema. También existen elementos iguales que serán explicados una sola vez.

Las principales diferencias entre los motores se puede observar en la siguiente tabla.

Diferencias	Tipo de motor	
	Gasolina/Explosión	Diésel/Combustión
Tipo de ciclo	Otto	Diésel
Queman	Gasolina	Gasoil
Se introduce mezcla de	Aire y gasolina pulverizada	Sólo aspira aire puro
Inflamación por	Chispa	Se inflama por sí solo
Sistema de encendido	Si	No
Relación de compresión	De 6,5 a 11	De 12 a 22. Promedio 16
Carburador	Si	No
Explosión/Combustión	De toda la mezcla	A medida que entra gasoil
Equipo de inyección	A veces	Siempre
Construcción	Ligera y simple	Pesada

Tabla 3.1 Diferencias en el motor de un vehículo utilitario. (1)

En lo referente al vehículo de competición se explicará el sistema en un Formula 1. Se explicará su funcionamiento, normativa dentro de la competición y los elementos de una forma muy general sin entrar en grandes detalles, pues en el siguiente apartado se explicará con más profundidad los componentes, su funcionamiento y sus exigencias.

3.1 Sistema de alimentación de un automóvil.

Tienen que diferenciarse dos tipos de vehículos y el elemento diferenciador será su combustible. Se explicaran los elementos de los vehículos que usan gasolina y se citaran también los elementos de los vehículos propulsados por Diésel.

3.1.1 Vehículos gasolina

Los vehículos que alimentan el motor por medio de gasolina tienen un funcionamiento que se puede observar en la figura 3.1, la cual se compone de los principales elementos de un automóvil que suministran la gasolina al motor.

Dicha figura representa el esquema del sistema partiendo del depósito de combustible, posteriormente se ubica la bomba de alimentación, encargada de suministrar combustible al carburador, seguido del surtidor por medio del efecto Venturi suministra la mezcla de aire y gasolina a nuestro cilindro.

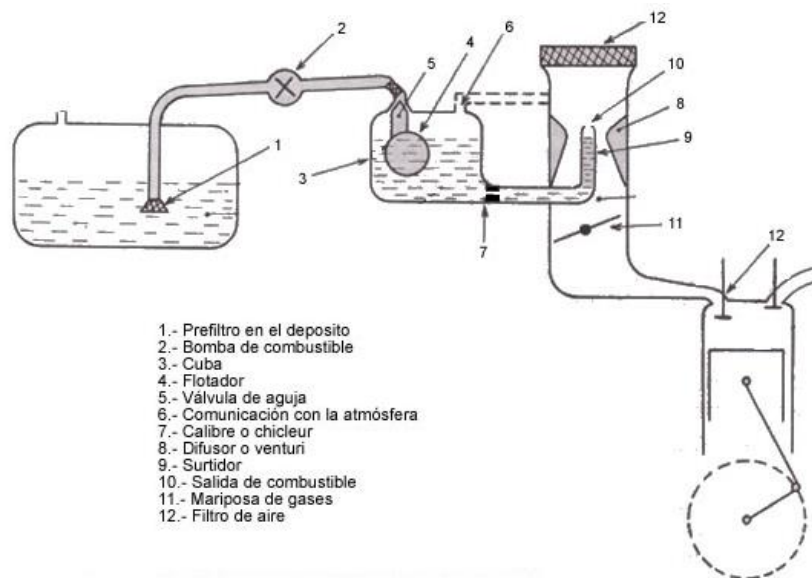


Figura 3.1 Esquema Sistema alimentación vehículo gasolina. (1)

A continuación se realizará una explicación de cada elemento que interviene en el proceso.

Depósito de combustible: Puede parecer que se trata de un elemento muy simple y con un parecido razonable en todos los vehículos pero no es así. En el pasado dicha afirmación podría ser correcta, pero actualmente es una parte importante en el estudio del sistema de alimentación; debido a que los movimientos oscilantes del combustible que se puedan realizar en el interior pueden afectar al comportamiento del vehículo y a la succión de la bomba. Un fallo de alimentación en la bomba provocará un vacío y la posterior falta de combustible en el motor con su respectiva falta de potencia en el vehículo.

El depósito en este tipo de automóviles está compuesto por una tubería de ingreso, un medidor de combustible, la bomba de alimentación y una tubería de regreso para reutilizar la gasolina no usada en el proceso de combustión.

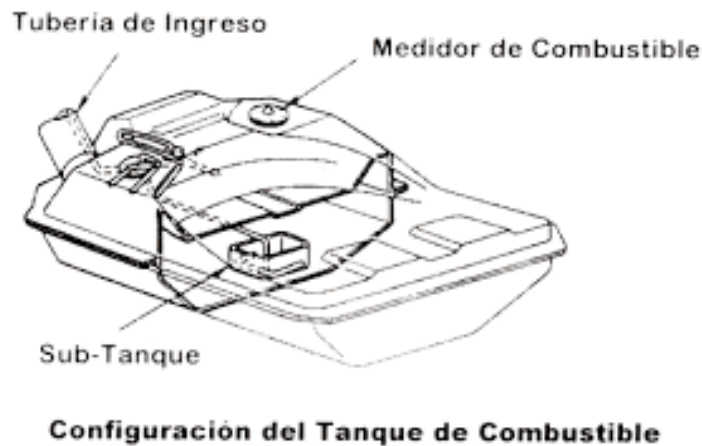


Figura 3.2 Depósito de combustible. (2)

Bomba de alimentación y el Filtro: La bomba de alimentación es la encargada de mover el combustible situado en el depósito al carburador o bomba de inyección (dependiendo del automóvil). Antes de llegar al siguiente elemento, el combustible tiene que pasar por un filtro denominado filtro de combustible y es el encargado de que toda suciedad, humedad e impurezas que se encuentren en el depósito o combustible no lleguen al motor.

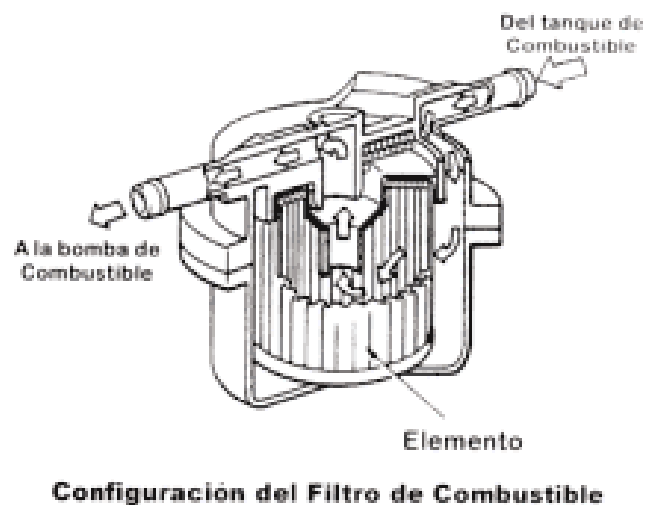


Figura 3.3 Filtro de combustible. (3)

Las bombas se clasifican en dos tipos tanto mecánica como eléctrica. La más común en vehículos propulsados por gasolina es del tipo mecánica y su funcionamiento es el siguiente: el pistón-membrana, que se encuentra unido al vástago por su parte alta.

Este último tiende a estar subido por su resorte y en su extremo inferior lleva un ensanche que enlaza con una hendidura situada en la palanca. A su vez, esta palanca esta sostenida en el otro extremo (Número 1 de la figura 3.3.) por el resorte correspondiente al número 5 (figura 3.3) y apoyada en el árbol excéntrico de levas. Se puede observar que esta palanca puede tirar del vástago, en cambio nunca empujar hacia arriba debido a que la hendidura no agarraría la parte más delgada del mismo.

La bomba se suele situar en un costado del árbol de levas cuando el extremo de la palanca (Número 1) es empujado por la parte más externa de la excéntrica del árbol de levas, lo que provoca que el extremo donde se sitúa la hendidura desciende y con esto el vástago, o sea la membrana. Esto provoca una depresión que succiona por la válvula de entrada (Número 3); por tanto se produce el llenado de gasolina proveniente de una tubería del depósito.

Cuando la excéntrica del árbol de levas apoya en la parte menos prominente la membrana sube por efecto del resorte del vástago, empujando la gasolina por la válvula de escape (Número 4) hacia el carburador. **[2]**

El consumo de gasolina dependerá del motor; debido a que si la cuba del carburador está llena la presión que ejerce el muelle recuperador del vástago no será suficiente para poder enviar gasolina por medio de la válvula de escape.

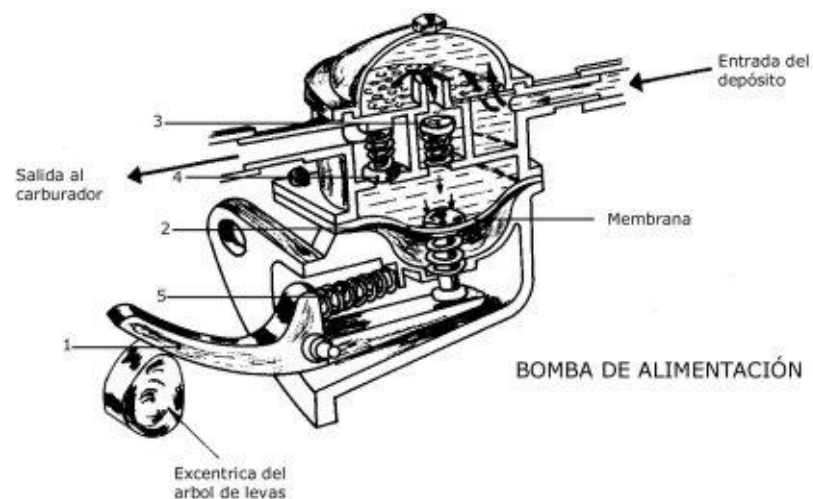


Figura 3.4 Bomba de alimentación mecánica. (4)

Filtro de aire: el aire aspirado por el motor contiene polvo en suspensión, que debe ser eliminado porque al entrar en contacto con el aceite de lubricación forma una pasta y desgasta las paredes de los cilindros, válvulas, etc. Se ha comprobado que los filtros reducen el desgaste de los cilindros en un 35% y los de papel bastante más, por eso últimamente todos los modelos suelen llevar este tipo de filtros.

Se suelen colocar en la tubería de admisión antes del carburador y cumplen dos funciones. La primera, someter al aire a un giro o cambio de dirección que separa las partículas de polvo por medio de la fuerza centrífuga y la segunda, silenciar la aspiración limitando en lo posible el silbido. [2]



Figura 3.5 Filtro de aire. (5)

Carburador: elemento encargado de preparar la mezcla de aire y combustible que será depositada en el pistón para que, por medio de la bujía (elemento encargado de crear la chispa), se produzca la explosión y su posterior aprovechamiento de energía.

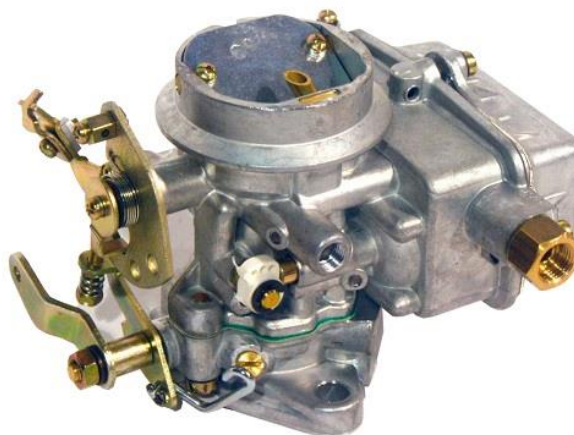


Figura 3.6 Carburador. (6)

La corriente de aire producida es la aspiración que ejercen los cilindros en la tubería o colector de admisión. Para que la succión de aspiración de aire sea mayor se diseña un estrechamiento en la boca del surtidor. Esto provoca una aceleración en el flujo de aire y un aumento en la succión del surtidor debido a que su caudal es constante. Este fenómeno se conoce como Venturi y se justifica físicamente de la siguiente manera: el caudal es constante y el área se ha visto reducida, se tiene que producir un aumento en la velocidad para que ese caudal pueda ser constante.

Si la gasolina llegase directamente al surtidor, se produciría un flujo constante de gasolina cuya fuerza dependería de la altura de la gasolina en el depósito. Para esto se instala un pequeño depósito denominado cuba que tiene un flotador encargado de regular el volumen de combustible. Este volumen máximo siempre se situará ligeramente por debajo del nivel del surtidor para que no se produzcan derrames en las paradas y que sea suficiente para arrastrar el combustible mediante la succión explicada anteriormente.

El flotador encargado de regular el combustible en la cuba se compone de una bisagra y una válvula de aguja. Cuando el flotador se sitúa en el nivel máximo la válvula de aguja se sitúa en su posición más alta e impide el paso de combustible proveniente del depósito. A medida que el nivel disminuye, la aguja desciende y permite el paso.

Como último elemento importante se menciona la válvula de mariposa o válvula de aceleración situada en el colector. Es la encargada de suministrar la cantidad de mezcla acorde a las exigencias del momento.



Figura 3.7 Funcionamiento del Carburador. (7)

En la actualidad, en los vehículos modernos se está implantando el sistema de inyección de gasolina que sustituye al carburador. La misión de este sistema es suministrar a cada cilindro la cantidad de combustible apropiada que necesite el motor en cada momento. Esto implica tener un gran conocimiento de los datos de dosificación de combustible.

La inyección de gasolina está controlada eléctricamente. Con ella puede captarse una cantidad de datos de servicio para su posterior conversión en señales eléctricas por medio de captadores. Estas señales llegan a la unidad de control de la instalación de inyección, la cual las procesa y calcula la cantidad de combustible a inyectar. Este valor puede variar en función de la duración.

Existen algunas ventajas de la inyección con respecto al carburador: por ejemplo, el paso del aire con el carburador siempre debe ser rápido para mantener la succión en el surtidor de gasolina, incluso cuando el motor gira despacio. Con la inyección solo pasa aire por el conducto y puede ser tan ancho como convenga al llenado. Otra gran ventaja en el aire de admisión al cilindro es la temperatura, debido a que no es necesario calentar el aire para vaporizar la gasolina porque por el colector de admisión solo circula aire. Por tanto el llenado del cilindro es más completo.

3.1.2 Vehículos diésel

Desde 1930 los motores Diésel han tenido cada vez una mayor importancia en el mundo automovilístico. Al principio su uso era para vehículos industriales, hasta la década de los 60 en la que apareció el primer turismo con dicho motor.

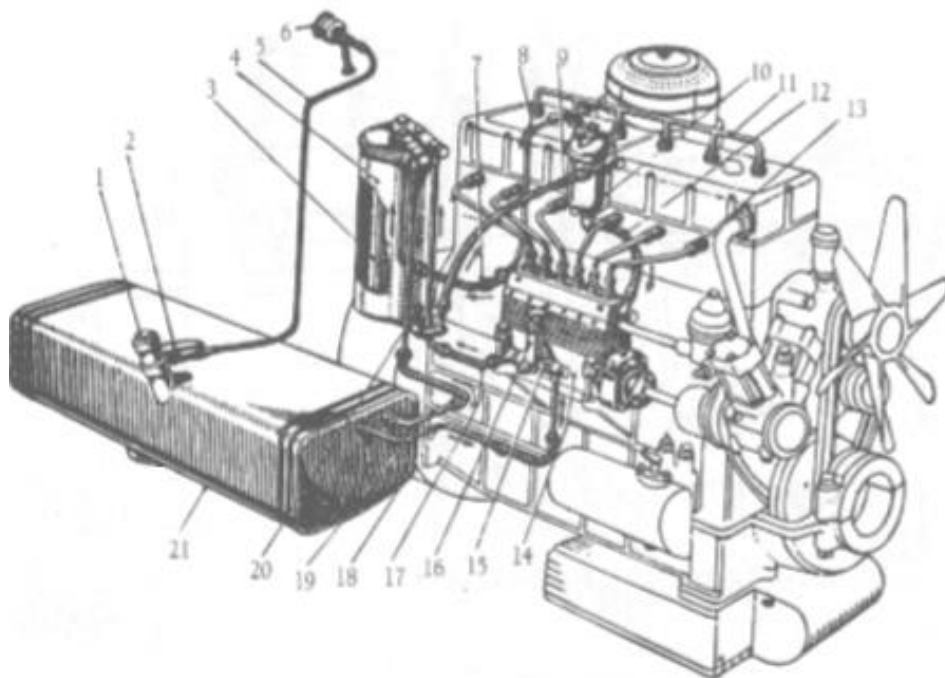


Figura 3.8 Esquema sistema de alimentación motor Diésel. (8)

Observando la Figura 3.8 se puede comprender su funcionamiento: el número 21 es el depósito de combustible. Por el conducto correspondiente al número 18 sale el fluido en dirección al filtro principal (número 4). Este movimiento de fluido es debido a la bomba de alimentación (número 15). Sale del filtro principal por el conducto número 9 y se dirige al segundo filtro (número 10). Posteriormente llega a la bomba de inyección (número 14) y sale por los conductos de alta presión a los inyectores de los cilindros. Existe un retorno del gasoil sobrante en los conductos con número 7, 8, 11, 19.

La organización de sus elementos es bastante similar a los motores alimentados por gasolina. No obstante, existen algunas diferencias: para que entre gasoil en el cilindro, inyectando aire fuertemente comprimido y caliente, es necesario que se envíe a una gran presión. De esto se encarga el sistema de inyección compuesto por una bomba y un inyector que da entrada al combustible en la cámara de combustión. [2]

Antes de explicar el sistema de inyección cabe resaltar que estos vehículos están compuestos por dos circuitos en el sistema de alimentación. Uno correspondiente al circuito de baja presión y otro al de alta.

El circuito de baja presión se compone de un depósito, una bomba de alimentación, los filtros y conductos correspondientes.

En estos elementos no existe diferencia alguna con lo explicado con anterioridad en el vehículo de gasolina. En el apartado anterior se ha citado dos tipos de bombas de alimentación, mecánicas y eléctricas, pero solo se han explicado las mecánicas. Por tanto ahora se explicaran las eléctricas.

Bomba eléctrica: se manda la membrana, en su movimiento de aspiración, por medio de una bobina electroimán que recibe la corriente de la batería de acumuladores. Este electroimán se encuentra dentro de un cilindro metálico.

Cuando llega la corriente a la bobina, esta atrae su armadura, que mueve la membrana unida a ella aspirando gasolina, pasa por el filtro de gasolina y sale por la válvula de escape.

Su funcionamiento es el siguiente: la armadura tiene un vástago interior unido a la bobina que, al asomar por el otro extremo, maneja un ruptor; de manera, que cuando pasa la corriente, el vástago retrocede porque la bobina es acercada al electroimán, aspirando gasolina. Entonces llega un momento que la palanca C (Figura 3.9), articulada en D, mueve el inversor E separando los contactos del ruptor y cortando la corriente.

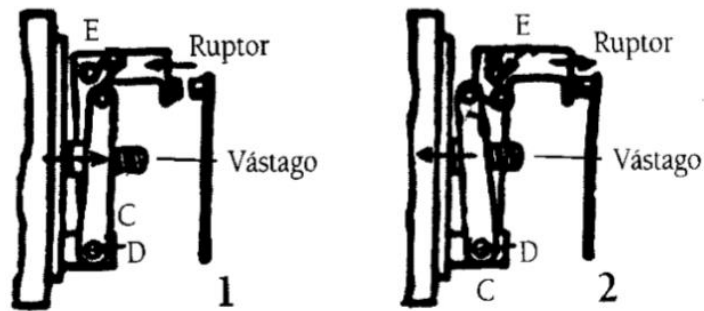


Figura 3.9 Bomba eléctrica. (9)

La membrana queda libre y con el resorte expulsa la gasolina por la válvula de escape. Cuando se va agotando el combustible la palanca C vuelve a activar el inversor E y reactiva el contacto del ruptor, lo que provoca que la membrana vuelva a aspirar.

En cuanto al circuito de alta presión, está formado por la bomba de inyección, los inyectores correspondientes y unas canalizaciones especiales debido a las grandes variaciones de presión que tiene que soportar.

Bomba de inyección: la elevada presión que debe tener el combustible en este tipo de vehículos eleva la importancia en el desarrollo de este elemento. Podría considerarse una de las partes más elaboradas en este sistema debido a que regula el caudal que es necesario, con las grandes variaciones que esto implica. Se exige una precisión y una garantía muy elevada durante toda su vida útil.

La bomba que se representa en la figura 3.10 corresponde a una bomba de inyección lineal Bosch. El combustible entra por el conducto 1 situado en la parte izquierda superior de la imagen. Se puede apreciar la existencia de 4 lumbreras con sus respectivos 4 pistones, uno por lumbrera, cada uno encargado de aumentar la presión de 8 bar hasta 130-200 bar. Cada lumbrera envía el combustible a un cilindro, es decir, una lumbrera por cilindro. Ese aumento de presión produce un movimiento de arriba abajo en el interior del cuerpo 4 por la acción de la leva 5, montada en el árbol de levas (elemento número 6), que es movido por el cigüeñal.

El pistón 3 baja a su posición normal por la fuerza del resorte 9, que lo aplica contra la leva. Este árbol de levas gira a la mitad de la velocidad del cigüeñal, análogo al árbol del motor, ya que cada dos vueltas del motor se produce una combustión en el cilindro y es necesario llevar combustible para que se produzca ese efecto. Mientras el pistón 3 se encuentra abajo el cuerpo de la bomba se llena de combustible. En cuanto el pistón es levantado por la leva tapa las lumbreras y sale el combustible por la válvula 7 con dirección al inyector correspondiente.

En cuanto el saliente de la leva pasa, el pistón baja, por la acción del resorte 9 y se vuelven a llenar las lumbreras de combustible. [2]

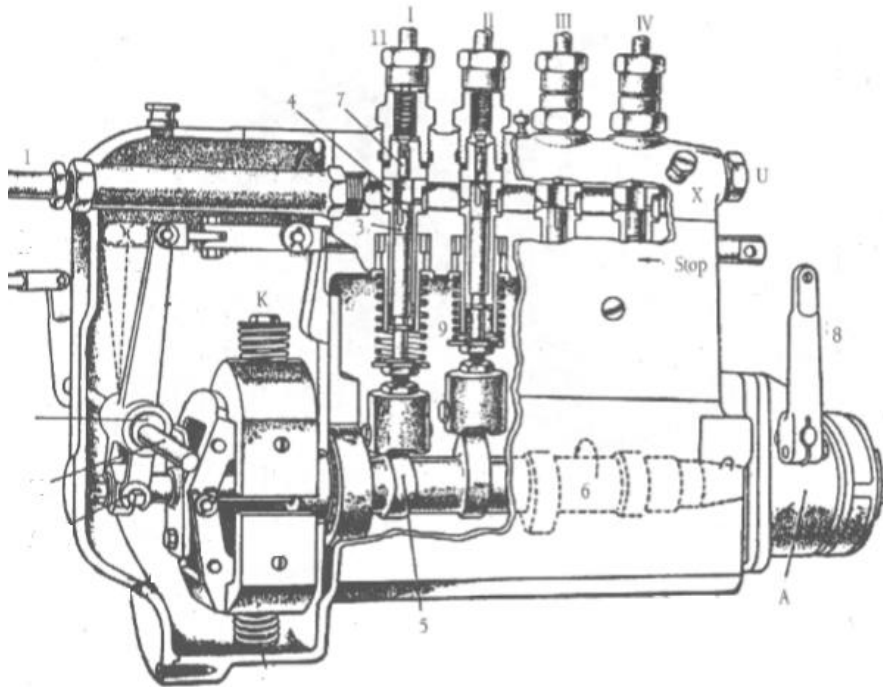


Figura 3.10 Bomba de inyección lineal Bosch. (10)

Injectores: son los elementos encargados de administrar combustible al cilindro en el momento determinado por la unidad de control. Debido a esto se evitan tuberías de alta presión posteriores a los inyectores.

Se ubica un inyector por cilindro y se activa por medio del árbol de levas. Cada inyector tiene su correspondiente leva de accionamiento. Además de la activación eléctrica, el comienzo y el caudal de inyección dependen de la velocidad del émbolo de la bomba, la cual está determinada por la forma de la leva.

La estructura del inyector será explicada mediante la figura 3.11. El cuerpo de la bomba (número 4) sirve de cilindro de la misma. Posee un brazo en el cual se sitúa la electroválvula de presión (número 1). El cuerpo establece las comunicaciones entre la cámara de alta presión (número 5) y la electroválvula o parte de baja presión (numero 6).

El contorno exterior está fijado mediante garras con la culata del motor (elementos 9 y 3 respectivamente). El muelle de reposición presiona el émbolo de la bomba contra el balancín y este a su vez con la leva de accionamiento. Así se evita durante el funcionamiento la posible separación de estos elementos.

Una vez concluida la inyección el muelle presiona al émbolo de vuelta a la posición inicial.

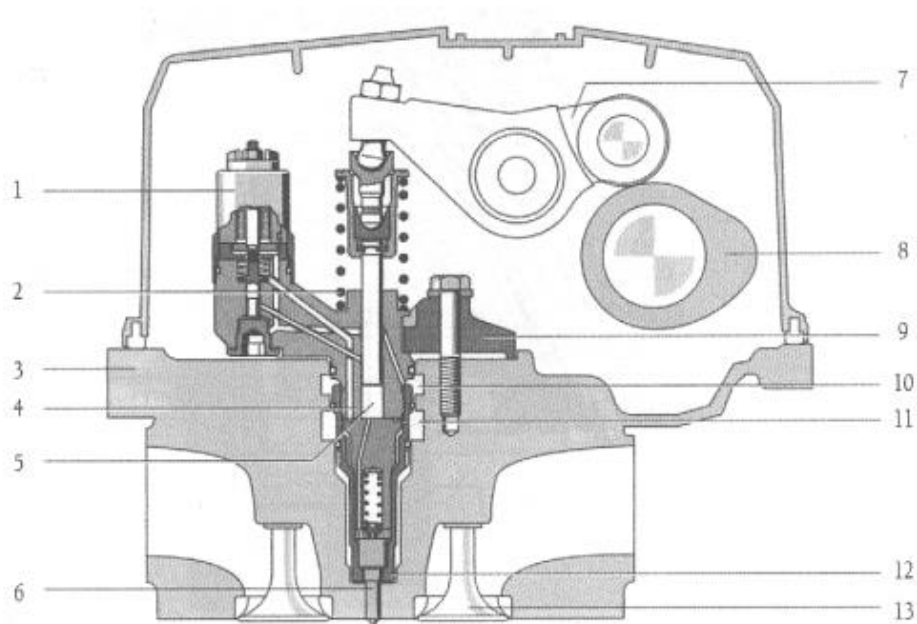


Figura 3.11 Inyector. (11)

Su funcionamiento puede dividirse en 4 estados de servicio:

1. Carrera de aspiración: el embolo de la bomba es movido hacia arriba por el muelle de reposición. El combustible que se encuentra en sobrepresión fluye desde la zona de baja presión a la cámara de la electroválvula.
2. Carrera previa: el embolo baja debido al accionamiento de la leva. La electroválvula está abierta y el combustible es presionado por el embolo a la parte de baja presión. Este combustible se transporta por el conducto de retorno.
3. Carrera de alimentación y proceso de inyección: la unidad de control suministra corriente a la bobina del electroimán, de modo que la aguja es atraída al asiento cortándose la comunicación entre la cámara de alta presión y la parte de baja presión. La presión en el interior aumenta debido al movimiento del embolo de la bomba y a su vez la presión en el inyector. Al alcanzarse la presión de apertura dependiendo del diseño y la utilización se levanta la aguja del inyector y el combustible se introducirá en la cámara de combustión.
4. Carrera residual: si se desconecta la bobina del electroimán la electroválvula se abre y habilita la comunicación entre la parte de alta y baja presión. El combustible sobrante vuelve a la parte de baja presión por el conducto de retorno. [2]

3.2 Sistema alimentación Formula 1.

El sistema de alimentación en la Fórmula 1 es una de las pocas partes en las que no existen grandes diferencias entre los monoplazas y esto se debe a las grandes limitaciones que tienen los equipos debido a la normativa.

El principal componente en el sistema de alimentación es el depósito de combustible. Este es diseñado por una empresa externa a la competición denominada Aero Tec Laboratories (ATL). Esta empresa, en colaboración con los equipos y supervisados por la FIA son los que participan en la elaboración de dicho depósito. Todo esto explica lo estandarizado que está el sistema y las pequeñas variantes que pueden existir entre los equipos.

En la normativa del 2014 este sistema sufrió un cambio brusco debido a los nuevos sistemas de recuperación de energía (ERS). Una parte del rendimiento del coche tendrá una procedencia híbrida, lo que significa que la nueva unidad motor estará compuesta del motor de combustión y dos sistemas de recuperación de energía.

Los dos nuevos sistemas se denominan MGU-K y MGU-H. La nomenclatura proviene de *motor generador* en inglés y la “K” (*kinetic*) significa cinética en español. En cambio la “H” (*heat*) significa calor y es porque la energía de este motor se produce por los gases de escape.

El MGU-K es lo que se denominaba con anterioridad KERS pero la FIA cambió la reglamentación y permitió la mejora de este elemento. Del 2013 al 2014 aumentó el doble su potencia y en 5 veces su capacidad de almacenamiento. El funcionamiento se basa en dos simples procesos: cuando se pisa el acelerador las baterías alimentan el motor que produce un par que mueve el cigüeñal. En el caso contrario, cuando se pisa el freno la energía cinética se transforma en electricidad y se almacena en las baterías para poder ser usada posteriormente.

El MGU-H es el motor generador que actúa sobre el conjunto compresor-turbina (turbo) del monoplaza. Tiene dos funciones: cuando el coche está acelerando proporciona energía extra al turbo para reducir el desfase (Lag) y comprimir el aire de admisión al motor. Por otro lado, cuando el coche está frenando o no acelerando el MGU-H funciona en modo generador de la energía que producen los gases de escape en electricidad. Esta electricidad se almacena en las baterías para un posterior uso.

Otro elemento en el cual la FIA pone especial cautela es el combustible. Como se puede ver en el Anexo I, se le dedica un artículo entero en la reglamentación (artículo 19). En este artículo se trata de regular y limitar a los equipos al uso de una gasolina muy parecida a la que puede ser usada por los vehículos comerciales.

Puede parecer que el diseño del depósito de combustible de un vehículo es sencillo. En cambio, nada dista más de la realidad. Cuando se trata de una competición y más la Fórmula 1, que podría ser considerada la más exigente, pueden aparecer problemas aparentemente sencillos que en este caso se magnifican. Por ejemplo, el combustible en el interior del depósito puede estar expuesto a fuerzas equivalentes a cinco veces la gravedad. Estas fuerzas pueden tener varias direcciones diferentes, como se explicará más adelante. Otros ejemplos a tener en cuenta son la succión de las bombas y el comportamiento estructural del depósito, que deben ser resueltos con la mayor eficiencia posible.

El funcionamiento del sistema de alimentación es sencillo. El proceso comienza con el llenado del depósito. Posteriormente y con el depósito lleno del combustible apropiado entran en funcionamiento las bombas de alimentación, que desplazan el combustible a un colector. Esta pieza es diseñada y utilizada con el propósito de evitar vacíos en las tuberías de combustible y así evitar una posible pérdida de suministro de gasolina en el motor. Una vez el combustible se encuentra en el colector (con una capacidad de 3,5 litros) se activa la bomba de alta presión, que es la encargada de suministrar la gasolina con la mayor presión posible al riel de combustible (100 bar). A partir de este componente se considera finalizada la función del sistema de alimentación.

En la figura 3.12 se puede observar cómo está dividido y formado el interior del depósito. En el siguiente apartado se explicará el cómo y el porqué de esta estructura, junto a los materiales empleados y las consideraciones realizadas. Las flechas azules indican el sentido del combustible en el depósito. Este es guiado por el simple hecho de la existencia de gravedad. Las líneas rojas simplifican la existencia de unas compuertas encargadas de permitir el paso en un sentido e impedirlo en el otro. Con esto evitamos en gran parte el posible movimiento que pueda sufrir el combustible en el interior del depósito. Por último, en las tres cámaras localizadas en la parte inferior será donde estén ubicadas nuestras bombas de alimentación. Estos compartimentos serán los últimos en vaciarse y por tanto las bombas suministrarán combustible hasta que el depósito se encuentre vacío.

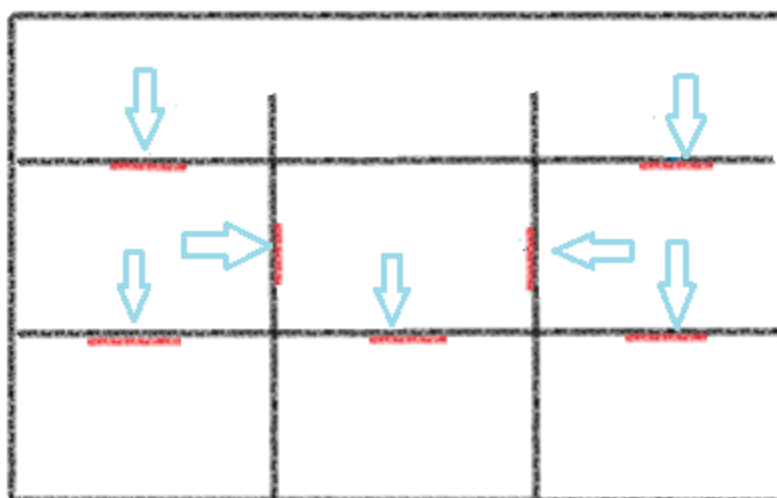


Figura 3.12 Esquema interior del depósito. (12)

En el apartado referente a las bombas se puede observar que este tipo de componente es vital para un coche de Fórmula 1 y no se puede permitir el mínimo fallo. Por tanto, las exigencias en este elemento son muy altas y se necesita una alta garantía de que funcionarán sin ningún problema a lo largo de una carrera con una duración cercana a las dos horas. Esto quiere decir que su precio será bastante más elevado en comparación con un automóvil utilitario.

En un vehículo de competición tenemos dos tipos de bombas:

El primer tipo se puede considerar bomba de baja presión y será una bomba eléctrica, explicada en el siguiente apartado.

El segundo tipo será la bomba de alta presión. En este elemento se puede apreciar una clara diferencia respecto a cualquier otro tipo de vehículo que no sea de competición. El coste de esta bomba suele ser 10 veces superior al coste de las bombas de alimentación, tiene que trabajar en unas condiciones de presión elevadas y con unas tolerancias de funcionamiento muy exigentes. Por ejemplo, la presión tiene que estar muy bien regulada, sino un aumento mayor de lo permitido implicaría una descalificación inmediata de la competición por superar el límite de presión. En cambio, una presión menor tampoco sería favorable porque significaría una pérdida de potencia lo suficientemente importante como para tener un gran hándicap con respecto a los otros competidores.



Figura 3.13 Bomba alimentación (Bosch). (13)

Los coches de competición tienen que seguir una normativa bastante específica y en la Fórmula 1 no iba a ser menos. La seguridad es un apartado muy importante, sino el que más para la FIA. Cada año este apartado suele ser el que más cambios sufre, siempre con el objetivo de aumentar la seguridad en los circuitos. Esta mención a la seguridad viene seguida del papel importante que tienen las válvulas. Su principal función es impedir el paso de combustible de un lugar a otro, por tanto en el caso de un posible impacto del vehículo se sitúan unas válvulas en posiciones estratégicas a lo largo del sistema de alimentación para que no sea produzca una fuga. En el siguiente apartado explicaremos las válvulas, sus localizaciones y sus funcionamientos.

Otro elemento muy sencillo que se encuentra situado en el interior del depósito se denomina “Baffle foam” (espuma deflectora). Se trata de una esponja fabricada de gomaespuma cuyos objetivos son evitar la aparición de gases en el interior del depósito que pudiesen provocar un aumento de presión y el chapoteo producido por el movimiento del combustible. Este último podría afectar al comportamiento del monoplaza.



Figura 3.14 Esponja interior depósito. (14)

Para finalizar con esta introducción, en lo que respecta al uso de inyectores, en la Fórmula 1 este está muy limitado ya que podría ser un gran elemento diferenciador. No obstante, como se cita textualmente en el Anexo I apartado 5.10.1 y 5.10.2, la presión del combustible en los inyectores no puede superar los 500 bar y se limita el uso de un inyector por cilindro, quedando prohibida la localización de otro inyector en el proceso.

4. Componentes sistema alimentación Formula 1.

4.1 Combustible.

El combustible empleado en los vehículos de competición, como es el de un Fórmula 1, es la gasolina. Obviamente no se trata de la misma gasolina que en el vehículo utilitario pero no dista mucho en cuanto a propiedades y prestaciones. Como anécdota en la bibliografía se facilita un enlace que corresponde a un video patrocinado por Shell (empresa que suministra combustible en la Fórmula 1) en el cual se hace una comparación del combustible usado en la gasolinera con el específico en Fórmula 1 y los resultados son muy similares. [3]

La gasolina se obtiene por medio de la destilación del petróleo bruto, localizado en la naturaleza, consecuencia de la descomposición de grandes masas orgánicas durante siglos.

La destilación de la gasolina consiste en el calentamiento progresivo del petróleo para que se vaporicen los hidrocarburos contenidos. La mezcla de éter de petróleo y esencia de petróleo, (Figura 4.1) después de limpia y refinada es lo que denominamos gasolina.

El uso de la gasolina actualmente es muy elevado, por eso este proceso no es viable debido a que las proporciones de gasolina son bastante iguales que las de los demás componentes en el proceso de destilación y para nada la demanda de gasolina es comparable con el resto de componentes; por tanto se utiliza otra técnica más avanzada.

Una alternativa a la destilación es la técnica conocida como “cracking”. Consiste en una segunda destilación del aceite pesado restante posterior a la destilación de la gasolina, aplicando un tiempo, presión y alta temperatura con la presencia de catalizadores, de forma que se rompan y desdoblén las moléculas más pesadas de los hidrocarburos, pudiéndose obtener de nuevo gasolina. [2]

Componentes del petróleo bruto	Densidad (Kg/L)	Temperatura de ebullición en Cº	Proporción con que se obtienen
Éter de petróleo	0,65	45 a 70	45%
Esencia de petróleo	0,73	70 a 150	-
Keroseno petróleo para alumbrado	0,8	150 a 300	6%
Gasoil	0,83	300 a 350	14%
Aceites lubricantes	0,86	350 a 380	3%
Fueloil	0,9	Superior a 380	20%
Parafina	-	Se derrite a 50	-
Alquitranes para asfaltos	-	-	12%
Otros residuos	-	-	-

Tabla 4.1 Componentes del petróleo. (2)

Composición química de la gasolina: base de hidrogeno y carbono, en diferentes combinaciones llamadas hidrocarburos. Para quemarse necesitan combinarse con el oxígeno localizado en el aire. Mezclas de hidrocarburos: carbono 84-87%, hidrogeno 11-14%, oxígeno 3%, 1% azufre y 0,5% nitrógeno como principales compuestos.

La cantidad que necesita un kilogramo de gasolina para quemarse seria 17 kg de aire, o lo que es lo mismo, expresado en volumen un litro de gasolina necesitara 10.000 litros de aire.

El índice de octanaje en el mundo de la competición es un factor muy importante debido a que el poder antidetonante que tiene el combustible viene marcado por dicho índice. Por tanto un combustible con mayor índice de octanaje permite mayor compresión y se obtiene mayor potencia en la misma cilindrada de motor. Otra ventaja es que el combustible es más limpio y no suele producir carbonilla. [2]

En el mundo de la Fórmula 1 este elemento es algo problemático. La propia FIA en la reglamentación [3] tiene destinado un artículo específico, en el cual sus metas son asegurarse de que el combustible empleado en la competición contenga una gran parte de los principales componentes de la gasolina común y sus proporciones sean lo más similares a los combustibles que puede suministrarse en una gasolinera. Deja claro que queda totalmente prohibido el uso de cualquier componente químico que pueda ayudar a dar mayor rendimiento al combustible y limita los residuos que pueda causar el proceso al 1% del total de combustible situado en el depósito. Cada escudería suele cambiar el combustible de un circuito a otro para que se adapte mejor a la potencia requerida y necesaria en cada escenario. Eso sí, las diferencias tanto de rendimiento como de composición suelen ser mínimas.

Para poder tener todo esto controlado la FIA se asegura por medio de la normativa y aclara cómo será el proceso en cada gran premio. Cada equipo tiene que entregar unas muestras de su combustible. A su vez puede ser inspeccionado su depósito en cualquier momento del gran premio.

La densidad del combustible elegido para este proyecto se ha basado en el valor medio de los valores que limitan la normativa. La densidad permitida oscila entre 0,720 kg/L y 0,775 kg/L. Por tanto nuestra densidad será 0,75 kg/L. Este valor es muy importante para saber cuánto volumen ocupará nuestra gasolina en el interior del depósito y en función de esto diseñarlo adecuadamente. La composición se observa en la siguiente figura.

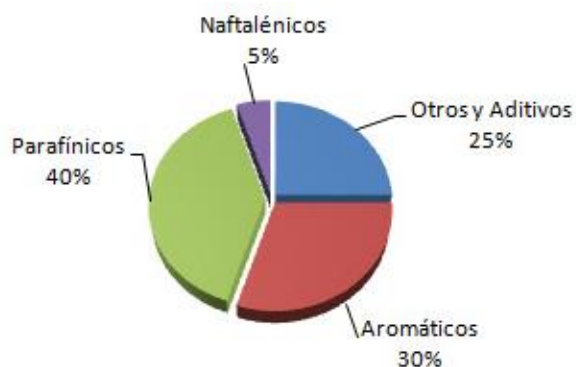


Figura 4.1 Composición combustible Fórmula 1. (15)

4.2 Depósito de combustible.

Históricamente, los tanques de combustible eran nada más que tanques de metal conformados para caber en cualquier lugar donde podían ser instalados. Propensos a pincharse en los accidentes ante el impacto, el combustible podría fácilmente extenderse y provocar un gran incendio. Esto indica que la seguridad no era un punto fuerte en este ámbito.

Un ejemplo es un chasis típico de los setenta, en el que el piloto se sentaba en una "bañera" de aluminio rodeado de 200 litros de gasolina.



Figura 4.2 Depósito de aluminio. (16)

En lo que respecta a nuestro depósito diseñado, el material seleccionado por ATL se llama 818-D (Edición 2003) y se ajusta a todos los requisitos FIA FT5 1999. Los requisitos mínimos de la norma FIA FT5- 1999 son una resistencia a la tracción de 954 kg (8,90 KN), una resistencia al desgarro 158 kg (1,56 KN), una resistencia a la perforación de al menos 182 kg (1,78 KN) y la fuerza necesaria para desprender una costura debe ser de 954 kg (8,90 KN). [4]



Figura 4.3 Material del depósito. (17)

Como se observa en la imagen el material está compuesto en gran medida de goma y en su parte interior de un material con diferentes fibras de Kevlar. En la reglamentación se le hace mención a este material, exigiendo que solo se puedan usar aquellos depósitos que fuesen manufacturados en un periodo inferior a 5 años. Todos aquellos fabricados hace más de 5 años no serán válidos para montarlos en el vehículo, esto es debido a que los productos fabricados con una gran cantidad de goma pueden perder sus propiedades fácilmente con el paso del tiempo.

Aparte de estas características, el material del depósito le permite deformarse en caso de un fuerte impacto (como el que podría ser causado por un accidente). El material es deformable para poder evitar una posible fuga de combustible que provocaría un incendio.

En relación con las posibles fugas la reglamentación es bastante explícita. La FIA sugiere que el combustible fuera del tanque tiene que ser el mínimo para el correcto uso del motor. Esto es debido a que el elemento con mayor seguridad de evitar fugas de combustible es el depósito, gracias a la gran cantidad de pruebas que se le someten; como por ejemplo de impacto.

En lo que respecta al diseño interior, se utilizan unos paneles laterales para poder subdividir el espacio diseñado para el combustible en cámaras. Con este sistema se distribuye el combustible de la manera más conveniente, es decir, que las fuerzas del combustible en el interior del depósito provocadas tanto por giros como aceleraciones y frenadas afecten lo mínimo posible al comportamiento del coche.



Figura 4.4 Elementos separadores en el interior del depósito. (18)

Estas cámaras están conectadas entre sí por medio de unas compuertas. Este elemento permite el paso de combustible en una sola dirección, lo que facilitará poder diseñar el recorrido que llevará el fluido en el interior del depósito.



Figura 4.5 Compuerta interior. (19)

Lo más importante de este recorrido es que en las cámaras situadas en la parte inferior del depósito estén a su vez situadas las bombas de alimentación al colector. Esto es así porque el fluido acabará en dichas cámaras por el efecto de la gravedad y se asegurará de este modo un continuo paso del fluido al colector sin afectar en gran medida las posibles oscilaciones del combustible provocadas por los cambios de dirección, aceleraciones o frenadas del vehículo.

El consumo máximo del motor es 0.037 L/seg (calculado en apartado 6); por tanto el volumen del depósito tiene que ser suficiente para abastecer al vehículo durante dos horas (periodo máximo que puede prolongarse una carrera de Fórmula 1).

El cálculo del volumen interior del depósito del Fórmula 1 se realiza por medio del programa Solid Works. Primero, se calcula el depósito como si fuera una pieza maciza y posteriormente se le atribuye un espesor. La diferencia de estos volúmenes corresponderá con el volumen interno en el que estará ubicado el combustible.

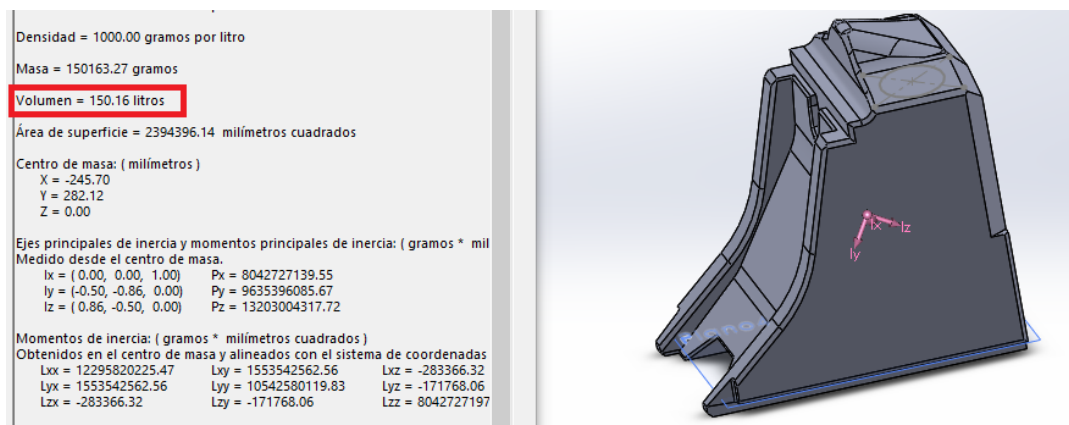


Figura 4.6 Volumen depósito sin vaciado. (20)

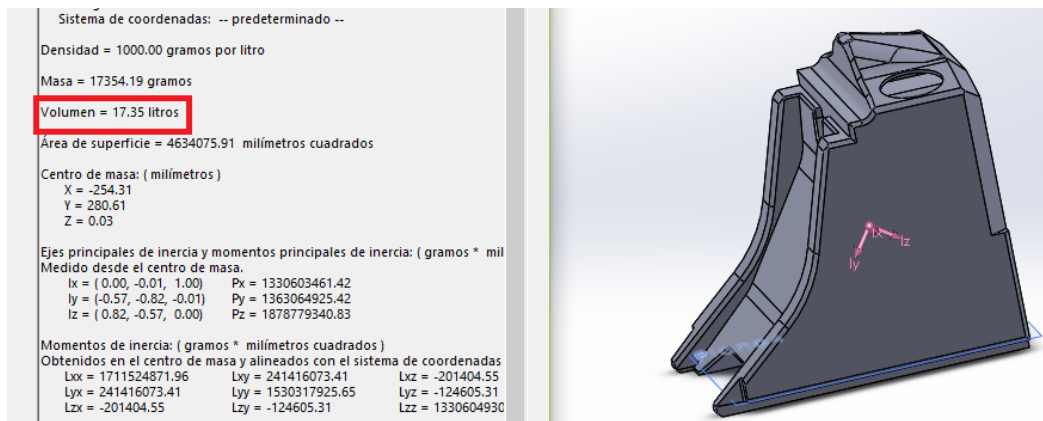


Figura 4.7 Volumen depósito con vaciado. (21)

La diferencia entre los dos volúmenes mostrados en las figuras anteriores, es en el que podremos situar el combustible. Volumen interno 150,15 L – 17,35 L = 132,8 L.

Este volumen es el requerido por nuestro sistema. Será explicado en el capítulo perteneciente a los cálculos del sistema de alimentación.

4.3 Colector.

Elemento encargado de almacenar un combustible de 3,5 Litros, cuya función es aportar flujo continuo a la bomba de alta presión y evitar una posible falta de potencia. Está formado por una tubería de entrada proveniente de las bombas eléctricas de alimentación y una tubería saliente que se encarga de enviar el combustible a la bomba de alta presión.

En su interior se encuentra un sensor de la marca Gill, un capacitador para poder controlar la cantidad de combustible ubicada. También este sensor es muy importante debido a que la FIA te exige tener una cantidad mínima de combustible al finalizar el gran premio [4]; por tanto el último lugar en el que se ubicará la gasolina en el caso de haber sido consumida en su totalidad será en el interior del colector. Si esto sucede el sensor dará aviso de que el nivel está disminuyendo.

A veces, se puede observar que nada más cruzar el vehículo la línea de meta se le ordena al piloto parar el motor. Esto se produce porque los ingenieros observan que el sensor indica la disminución del volumen mínimo de combustible exigido por la FIA en dicho colector.

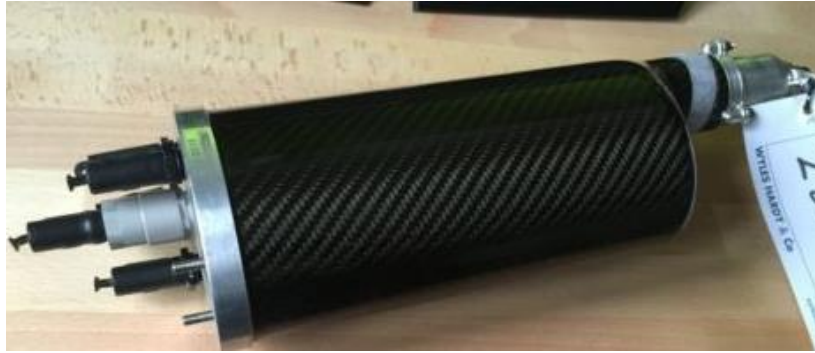


Figura 4.8 Colector. (22)

El funcionamiento de un capacitador se explicará por medio de la figura 4.8, en la cual se observa un circuito eléctrico compuesto por una fuente de alimentación, un interruptor y el capacitador. Este último está formado por dos electrodos que podrían ser dos placas de metal paralelas. Entre dichas placas se crea un campo eléctrico en el cual se almacena electricidad cuando un voltaje es aplicado al circuito. La cantidad de energía que se almacena entre los electrodos es la capacidad que tiene este elemento; esta variable suele aumentar cuando introducimos un material dieléctrico. El material de este dieléctrico dictaminará la clase de capacitador y dependerá de la aplicación para la que se necesite usar.

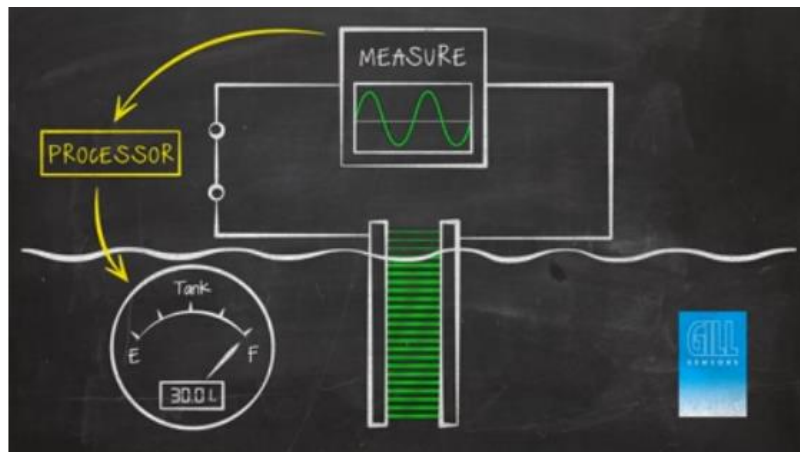


Figura 4.9 Funcionamiento capacitador. (23)

En cuanto al sensor que se utiliza en la medición de combustible en el colector, está formado por un capacitador. Se puede observar que se añaden más elementos para su correcto funcionamiento, como un elemento que capta una señal que mide el voltaje que tiene el dieléctrico, que en este caso es líquido (gasolina). Este valor es interpretado por un procesador para saber el nivel en ese preciso instante. Se suele tomar de referencia tanto el recipiente lleno como vacío. Después de obtener estos valores se empieza a calibrar la señal.

La FIA tiene homologado este tipo de sensores por medio de la empresa Gill [5] y son los que aplican los equipos en muchos de sus depósitos tanto combustible como aceite.



Figura 4.10 Sensor de nivel de combustible Gill. (24)

4.4 Bombas.

Las bombas son el elemento encargado de poder transportar el fluido de un sitio a otro. En el sistema de alimentación el objetivo es que el combustible situado en el depósito acabe en los inyectores. Los inyectores serán el último elemento antes de que el combustible se sitúe en la cámara de combustión para su posterior aprovechamiento de energía.

Las principales diferencias que tiene el combustible en su etapa inicial con respecto a su etapa final son un aumento de temperatura, un aumento de presión y un filtrado del combustible para evitar posible daños que pudiesen ocasionar partículas que se depositasen en los elementos mecánicos del sistema.

Para poder obtener esas condiciones finales la alimentación tiene dos tipos de bombas (como se ha mencionado en la introducción).

El primer tipo de bombas son las que se denominan de baja presión y tienen dos funciones: una, como cualquier tipo de bomba, es transportar el fluido en este caso del depósito a un colector. La segunda función es evitar la entrada de partículas con un tamaño superior a $74\text{ }\mu\text{m}$ mediante la utilización de un filtro de papel (como se puede observar en la siguiente imagen).



Figura 4.11 Filtro de papel. (25)

Las bombas de baja presión de este sistema son eléctricas. Son más fiables que las mecánicas pues, al estar en contacto con la gasolina, ante la posibilidad de que se produjese un vacío su comportamiento será más adecuado que el que tendría una bomba mecánica. Están sumergidas en el combustible, debido a que están localizadas en el interior del depósito y situadas en la parte trasera de las cámaras inferiores. El número de cámaras son nueve, divididas en tres alturas; por tanto en el nivel inferior se localizaran 3 bombas de alimentación al colector una en cada cámara.

El funcionamiento de este tipo de bombas está explicado en el apartado 3 y 6. El cálculo de la potencia necesaria para poder superar las condiciones de pérdidas de carga, máximo caudal posible y presión de salida (3 bar) se ubican también en el apartado 6.

La bomba seleccionada para alimentar al colector en los monoplazas de la Formula 1 pertenece a la empresa Bosch y se denomina Fuel Pump LPX-F1 [6]. Se enumerarán sus características en el anexo correspondiente. En la siguiente figura se puede observar como es la bomba en su interior.

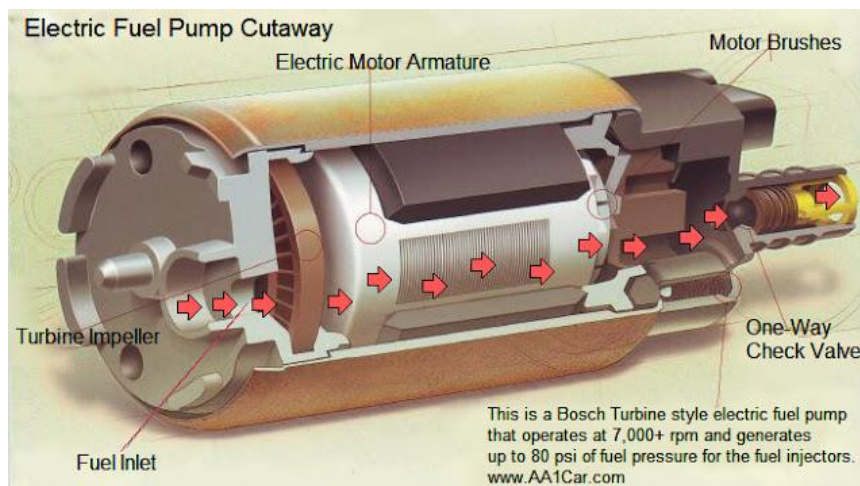


Figura 4.12 Interior Bomba eléctrica. (26)

En lo referente al circuito de alta presión, este se inicia en la salida del colector y está formado por unas canalizaciones específicas capaces de aguantar una gran presión del combustible en su interior, que serán explicadas más adelante y una bomba de alta presión que elevara la presión de la gasolina hasta los 100 bar, presión limitada por la FIA.

El funcionamiento de las bombas de alta presión (HDP) se explicará mediante la figura 4.12. En esta, se observa como el árbol de levas del motor moverá el eje de accionamiento (número 3) que a su vez moverá el émbolo (número 4). Durante el movimiento descendente del émbolo se introduce gasolina procedente de la válvula de admisión 7. Este combustible se encuentra a una presión de 3 bar proveniente de la válvula de baja presión. El efecto deseado se produce cuando el émbolo sube comprimiendo el fluido a la presión requerida por el sistema saliendo por el tubo (número 8) con dirección al riel de combustible. [2]

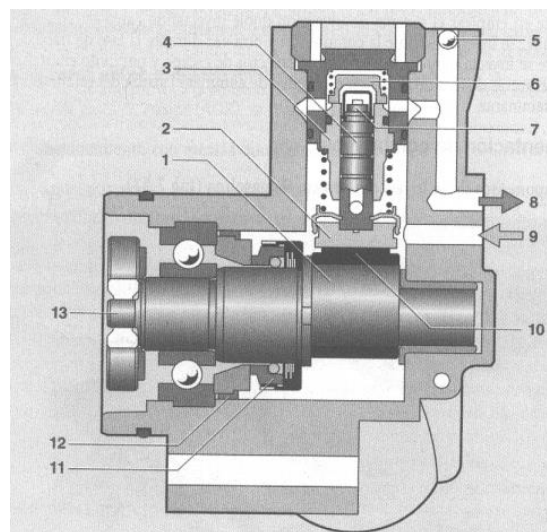


Figura 4.13 Bomba de alta presión. (27)

La bomba HP Fuel Pump HDP 5 [6] utilizada en nuestro sistema también pertenece a la empresa Bosch y se pueden observar sus características en el anexo de bombas. También se las puede denominar a este tipo de bombas de pistón debido al sistema que tienen para aumentar la presión. En el caso particular de esta bomba tiene un regulador interno de presión para poder limitar a 100 bar el combustible y evitar el incumplimiento de la normativa. Aparte este regulador tiene la misión de retener la gasolina, lo que producirá en algunos casos de baja demanda un exceso de combustible. Este exceso será enviado al circuito de baja presión de la bomba HDP.



Figura 4.14 Bomba HDP F1. (28)

4.5 Válvulas.

Para poder aplicar válvulas en la Fórmula 1 deben ser aprobadas por la FIA, en la web oficial de ATL se puede consultar aquellas válvulas que se usan en el sistema de alimentación. **[7]**

4.5.1 Válvula anti-retorno de llenado.

Es la encargada de controlar el llenado del tanque. Con este tipo de válvulas, como su nombre indica, el fluido puede ir en un solo sentido.

El funcionamiento es el siguiente: cuando se introduce la manguera la propia presión permite bajar la tapa y por consiguiente permitir el paso del combustible. Esta tapa tiene un sistema por el que cuando retiramos la manguera (y no existe presión), la tapa vuelve a su posición y evita una posible fuga del combustible ubicado en el interior. Este sistema suele ser un muelle tarado con una pequeña pieza de metal que une el resorte con la tapa de plástico.



Figura 4.15 Válvula anti-retorno de llenado. (29)

4.5.2 Válvula de cierre automático.

La localización de este tipo de válvulas lo determina la normativa [4], deben estar colocadas en las canalizaciones y no se permite que el porcentaje de combustible que divida dicha válvula sea desproporcionado. Es decir, lo ideal sería que se situase justo en el tramo intermedio dividiendo la tubería en dos partes iguales.

Estas válvulas trabajan a condiciones superiores a 3 bar, es decir, si el combustible proveniente de las bombas de alimentación no llevase esa presión la válvula no se abriría e impediría el paso de combustible. Las condiciones de trabajo pueden alcanzar hasta 8 bar a la salida de la bomba de alta presión.

En el sistema de alimentación se colocaran 5 válvulas de este tipo. Tres situadas en las tuberías de unión entre el colector y las bombas de alimentación (se situarán como se ha dicho anteriormente en la mitad de la tubería dividiendo el combustible en dos partes iguales).

Otra estará situada en la tubería que une el colector con la bomba de alta presión.

Y la quinta válvula se situara posterior a la bomba de presión. Esta última será la que sufra mayor presión de trabajo y también estará situada en una tubería de mayor longitud. En caso de accidente estas válvulas cerrarán automáticamente el paso de combustible y el sistema quedará aislado respecto al depósito con el objetivo de evitar una posible fuga que pueda causar un incendio en el vehículo.



Figura 4.16 Válvula de cierre automático. (30)

4.5.3 Válvula de ventilación.

Es la encargada de evitar la formación de gases en el depósito que puedan aumentar la presión. Este aumento de presión podría provocar alguna fuga indeseada y comprometer la seguridad en el vehículo.

Este tipo de válvulas estarán situadas de la siguiente forma: una por cada cámara que se encuentra en el depósito, es decir, 9 en total. Su posición será anclada a los separadores horizontales de cada cámara y así estarán ubicados en la parte más alta, que es donde los vapores se pueden alojar.

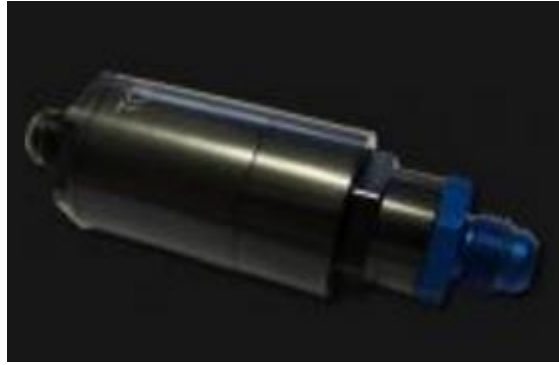


Figura 4.17 Válvula de ventilación. (31)

4.6 Caudalímetro.

Es un elemento que se instala por orden de la FIA y su misión es controlar el flujo de combustible que consume el motor. Este flujo está limitado a 100 Kg/h.

La localización será posterior al colector y previa a la bomba de alta presión. El elemento a explicar es un caudalímetro que funciona por medio de señales de ultrasonidos.

Se instala en una tubería en la que se encuentra una entrada en la cual se coloca un transductor y una salida donde está situado el segundo transductor (figura 4.16). Estos elementos son tanto receptores como emisores de ultrasonidos. La función de estos transductores es la transformación de una energía de entrada en otra de salida. En este caso recibirán una señal de ultrasonidos y enviarán una señal eléctrica.

El proceso de medición es el siguiente: un transductor manda una señal de ultrasonidos para ser captado por el otro, esta señal rebota en el interior del tubo hasta que posteriormente llega al segundo transductor que transforma esa señal en una señal eléctrica y la envía a un módulo de control. Una vez recibida la información el segundo envía otra señal al primero, repitiéndose el mismo procedimiento mientras el combustible esté fluyendo.

El envío de estas señales ultrasonido producen una variable que es el tiempo. Este tiempo no es el mismo si la señal va contra corriente o en la misma dirección de la corriente. Con la diferencia de tiempo que existe entre ambas señales, se puede conocer la velocidad a la que circula el fluido y sabiendo el área de la sección se conoce el caudal que pasa por dicho elemento.

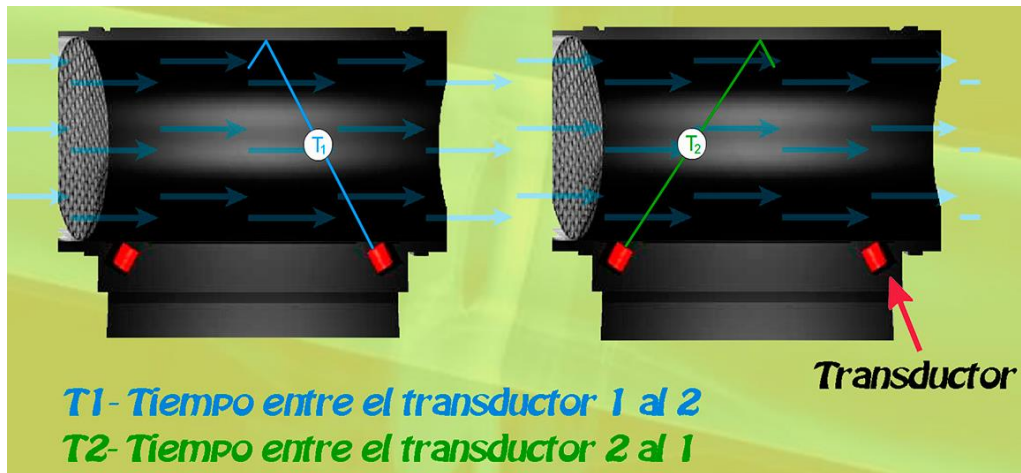


Figura 4.18 Funcionamiento Caudalímetro. (32)

En el ámbito de la Fórmula 1 estos sensores son capaces de medir 8 litros por minuto. No obstante, este sensor tiene un procedimiento de cálculo algo más complicado; debido a que la FIA [4] no solo regula el caudal sino que también la temperatura, dirección y posibilidad de acumulación de combustible. La precisión de este componente puede llegar hasta 0.05%, sin embargo la FIA exige un +/- 0,5%.



Figura 4.19 Sensor Gill. (33)

Como todo elemento que compone un vehículo de competición debe pasar unas homologaciones y unas pruebas que demuestren un correcto funcionamiento y este elemento no iba a ser menos. La empresa encargada de suministrar el caudalímetro a los competidores es Gill y es la única que tiene aprobación de la FIA para comercializarlo. [5]

Está diseñado para soportar unas grandes vibraciones y temperaturas extremas, no está compuesto por partes móviles mecánicas y puede medir el flujo de combustible en condiciones que no superen 1 KHz. Para conocer más especificaciones ver anexo sensores Gill.

4.7 Canalizaciones.

Se tiene que destacar en este apartado los dos diferentes tipos de canalizaciones que componen el sistema de alimentación. La diferencia de estas canalizaciones es en el material con el que se fabrica cada tubería y es debido a la presión del fluido que soporta en su interior.

4.7.1 Circuito baja presión.

Se compone de tuberías en el interior de las cuales se localiza combustible a baja presión. Son aquellas que conectan las bombas de alimentación con el colector y del colector a la bomba de alta presión. En su interior el fluido no supera los 3 bar de presión y serán consideradas de baja presión; debido a que otras tuberías y elementos van a soportar hasta 100 bar.

El material y forma se puede observar en la figura 4.18. El material es una especificación de PVC (policloruro de vinilo), que debe ser revisado, testado y aprobado por la FIA y fabricado por la empresa ATL.

Las longitudes de estas tuberías partirán desde las bombas situadas en los extremos del depósito hasta el colector y no superaran los 500 mm. La longitud de la tubería correspondiente a la bomba situada en el centro del depósito será menor (400 mm). Todas tendrán el mismo diámetro de 12 mm y un coeficiente de rugosidad 0,0015 mm. Estos datos serán fundamentales para poder analizar el flujo y poder determinar el uso apropiado de las bombas de baja presión.



Figura 4.20 Tubería de admisión al colector. (34)

4.7.2 Circuito de alta presión.

Está situado posterior al colector y está compuesto por dos tramos de tuberías. El primer tramo conectará la salida del colector con la entrada de la bomba de alta presión. Dicho tramo estará diseñado con el mismo material, acero trefilado de gran calidad que el segundo tramo, aunque no tenga que soportar las mismas condiciones. Debido a que el segundo tramo, correspondiente a la salida de la bomba hasta la entrada al riel de combustible, debe soportar una presión cercana a los 100 bar.

Uno de los riesgos que sufre este tipo de conductos es la cavitación, esto se produce cuando los fluidos sufren fuertes cambios de presión, que en este caso se produciría en salida de la bomba de alta presión (se forman vapores en el interior provocando burbujas que pueden desgastar el interior de las tuberías y posteriormente esas partículas que se desprenden pueden dañar los siguientes elementos).

En este tipo de tuberías se tienen que tener en cuenta las siguientes condiciones: todos los tubos deben tener el mismo diámetro y longitud, las curvas que sean necesarias en el sistema deben ser diseñadas con el mayor radio de curva posible.

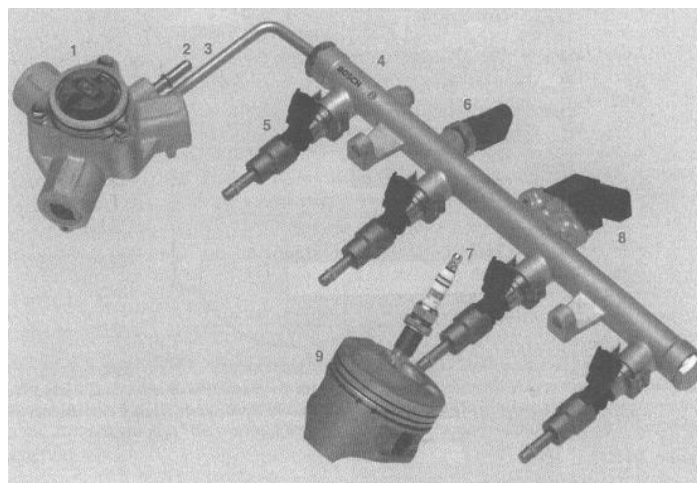


Figura 4.21 Circuito de alta presión. (35)

En este apartado también se debe mencionar la parte de retorno de combustible. Como ya se ha mencionado en el capítulo de bombas, cuando la bomba de alta presión supera la demanda de combustible del motor, el regulador interno se encarga de mandar la gasolina al colector para su posterior uso. Las características de este retorno serán las mismas que componen el sistema del circuito de baja presión.

5. Diseño con CAD.

5.1 Introducción al CAD.

Con respecto al pasado han surgido numerosas herramientas que han facilitado los sistemas de producción y fabricación. Una de esas herramientas es el diseño asistido por ordenador o CAD (Computer-Aided Design).

El CAD ha reducido considerablemente los costes en la fabricación de piezas y el tiempo, otro factor muy importante a la hora de poder cumplir las exigencias con los clientes.

Esta herramienta se basa en poder diseñar una pieza, para posteriormente someterla a una simulación en unas condiciones de trabajo específicas, pudiendo observar los resultados y determinar si el diseño es correcto o hay que realizar alguna modificación.

Estos procesos implicaban hace unos años la fabricación de numerosos modelos y el ensayo de éstos hasta conseguir que se cumplieran los requerimientos, con su considerable coste económico.

El diseño realizado con este método se denominará punto de partida para la aplicación del resto de técnicas asistidas por ordenador. A partir del modelo diseñado se podrán realizar análisis, optimización, diseño de fabricación, mantenimiento, etc.

El uso de ordenadores se empieza a instaurar en los sesenta. En esta primera concepción, el diseño asistido era una sustitución del tablero de dibujo, lo cual suponía ya un importante ahorro de tiempo en la generación y edición de planos. El desarrollo de estos programas informáticos ha conseguido crear unas herramientas muy potentes.

En función de la capacidad de representación, las técnicas CAD pueden clasificarse en:

- CAD 2D: representación bidimensional de objetos.
- CAD 3D: considera los objetos de forma tridimensional. Los ficheros generados tienen información tridimensional. En esta categoría se distinguen entre distintos niveles de representación:
 1. Modelado en jaula de alambre: el ordenador almacena la información de las 3 coordenadas espaciales de los vértices del objeto y los elementos geométricos que unen esos vértices.
 2. Modelado en superficies: a la información del modelo en jaula de alambre se une la información de las superficies que limitan el objeto.

3. Modelado de sólidos: el ordenador tendrá la información del modelo en superficies y además podrá distinguir el interior del exterior de la pieza.[8]

Solid Works se puede considerar como uno de los programas más completos en cuanto a la fase de diseño e incluso simulación. El problema es su precio, bastante superior a la competencia. En una empresa, dependiendo del uso que se le vaya a aplicar y la importancia que le puedan dar a esta fase, será recomendado el aplicar este tipo de software o por ejemplo uno muy común y utilizado como Solid Edge. Su precio es bastante inferior y su funcionamiento es bastante similar.

Al iniciar Solid Works se tiene que seleccionar el tipo de acción que se desee. En este caso se podrá elegir entre parte, ensamblaje y dibujo.

- Parte: este apartado corresponde a cualquier componente que se quiera representar en 3D.
- Ensamblaje: es el apartado encargado de poder unir diferentes piezas, necesario para que el conjunto cumpla su propósito.
- Dibujo: la representación en 2D de una pieza o elemento.

Una vez iniciado la opción deseada comienza la parte de diseño puro y representación de elementos. En el apartado de *Part* (Parte) donde se realizan los componentes de este sistema (depósito y colector), aparecen tres planos de trabajo.

Una vez dentro de cualquiera de los tres planos diferentes de trabajo, se realiza un dibujo en 2D utilizando todo tipo de recursos geométricos como líneas, rectángulos, curvas, circunferencias, etc. A este tipo de dibujo se le puede dar las medidas necesarias y requeridas mediante la pestaña *Tools* (Herramientas) y dentro de esta pestaña, seleccionar *Measure* (Medida). La única condición de este dibujo en 2D es que una vez finalizado sea un recinto cerrado.

En el apartado de herramientas se encuentran diversas opciones como dar unas propiedades a la sección, cambiar el color del boceto, seleccionar el sistema de medidas, etc.

Una vez finalizado la parte del boceto en 2D, se suele extruir la pieza con el comando extrusión para obtener un elemento en 3D. Los pasos a seguir son: pinchar el boceto y darle al comando extrusión, posteriormente te pedirá el programa una distancia, que será la profundidad que se le quiera aplicar al boceto. Se podrá visualizar previamente antes de aceptar el paso de extrusión y poder realizar algún cambio necesario antes de finalizar con el comando.

Con esto explicado se puede realizar el diseño de un elemento en 3D sencillo. Existen otras aplicaciones y comandos que ayudan a diseñar elementos más complicados o perfeccionar algunos elementos más sencillos. Estos comandos pueden ser el redondeo, eliminar material, realizar superficies por medio de curvas representadas con ecuaciones, realizar roscas, agujeros, etc.

5.2 Elementos diseñados en Solid Works.

Al realizar las piezas deseadas con el software indicado se han tenido en cuenta unas consideraciones, guiadas en exclusiva por la propia reglamentación de la Fórmula 1. Existen unas limitaciones (Anexo I) que serán explicadas y se han tenido que acatar en esta fase de diseño. Dicho anexo cita que el combustible no puede estar más de 400 mm alejado del centro longitudinal; por tanto el ancho del depósito está limitado a 800 mm. [4]

Otra limitación es la altura máxima de un Fórmula 1 (950 mm). En ningún caso nuestro deposito llega a aproximarse (máxima altura 700 mm).

La reglamentación dice que en la figura 5.1 desde el punto “c” hasta el punto “a” la mayor distancia posible sería 300 mm. El radio de curvatura de dicha unión no puede ser mayor de 300 mm como se observa en la misma figura.

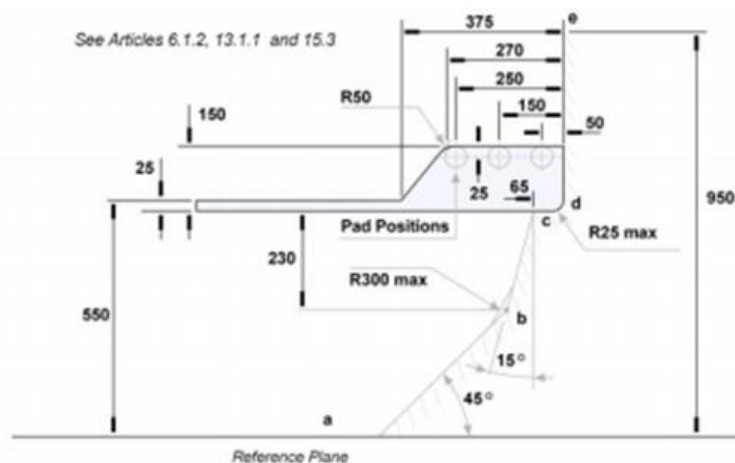


Figura 5.1 Limitaciones en el diseño. (36)

En el caso de la entrada de gasolina no es tan importante el tamaño respecto al pasado, debido a que con el cambio de reglamentación los depósitos son llenados solo una vez por carrera (al inicio de esta, sin tener ninguna importancia el tiempo de llenado). De todas maneras el diámetro aplicado se ha basado en los componentes que tiene regulados la FIA por medio de la empresa ATL, un diámetro de 120 mm. En la normativa [4] también se exige que la entrada de combustible sea simétrica, es decir, que exista en ambos lados aperturas de igual tamaño por las cuales mediante una válvula regulada se introduzca el combustible. La razón por la cual se exige esto es para poder facilitar el recoger una muestra de combustible al final de cada carrera. La muestra recogida debe ser como mínimo de un litro y si esta mínima cantidad no fuera obtenida por falta de combustible el equipo será sancionado.

Como es lógico en Fórmula 1 se busca que el centro de gravedad se sitúe lo más bajo posible; por tanto se intenta mediante el diseño que la mayor cantidad de gasolina se sitúe en el fondo del depósito, intentado así ayudar a este propósito.

Las principales medidas que delimitan el depósito son un ancho de 700 mm, una altura máxima de 750 mm y una profundidad 800 mm.

Las dos siguientes imágenes son una vista de la parte delantera del depósito y una vista trasera del mismo. Como se puede observar en el diseño está pensado para que pueda anclarse con la mayor facilidad y seguridad en el vehículo (este anclaje será analizado en el apartado 8).

En la parte delantera se puede observar cómo se intenta adaptar la forma al asiento del piloto, debido que es elemento que se situará justo a continuación. También se identifica un pequeño hueco en el centro del depósito que se habilita para poder posicionar las baterías correspondientes al MGU-H y el MGU-K.

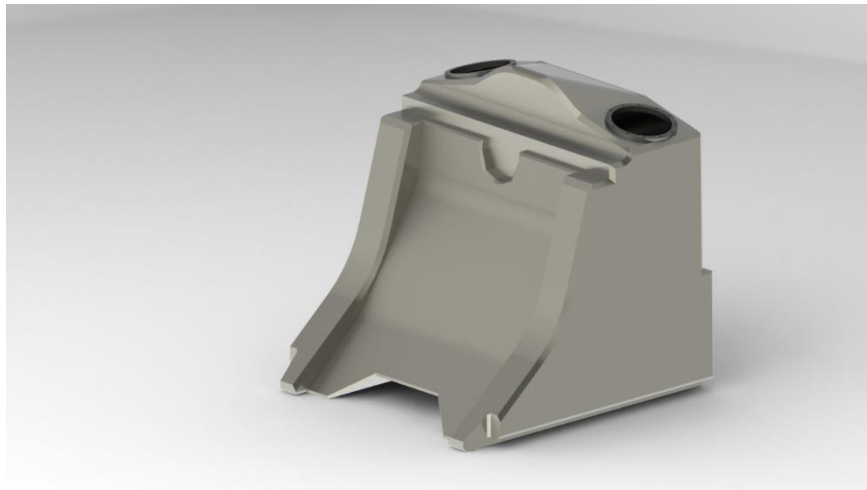


Figura 5.2 Parte delantera del depósito. (37)

En la parte trasera se debe dejar un espacio para poder encajar el depósito de aceite y a su vez en los laterales se diferencian unos railes que ayudarán a poder fijar el depósito con el monoplaza. Estos railes también se pueden observar en los extremos de la parte inferior del depósito, con el mismo objetivo de anclar lo mejor posible el depósito al coche y que se comporte como si se tratase de una única pieza.

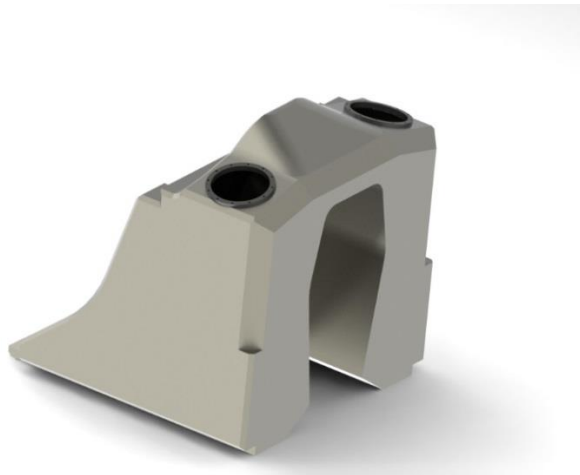


Figura 5.3 Parte trasera del depósito. (38)

En cuanto al colector, es otra pieza diseñada con Solid Works y su ubicación será importante para poder calcular la potencia de la bomba. La bomba necesitará realizar un trabajo para poder elevar el fluido a la altura correspondiente. El colector irá anclado a la pared del depósito, esta sujeción debe ser segura para evitar un posible desprendimiento de dicho colector y su posterior inconveniente en la alimentación al motor. La ubicación tendrá una altura correspondiente a 350 mm y estará justo en el eje intermedio que delimita el ancho del depósito. Se puede observar que respecto al “hueco” mencionado en el depósito para la localización del depósito de aceite, no solo se debe tener en cuenta su diseño exterior sino también el interior, donde se ubicará el colector (por tanto también debe tenerse en consideración sus medidas y limitaciones).

Nuestro colector no exige ni por diseño ni por reglamentación unas características muy concretas, simplemente una presión interior aproximada de 3 bar y un volumen de 3,5 litros.

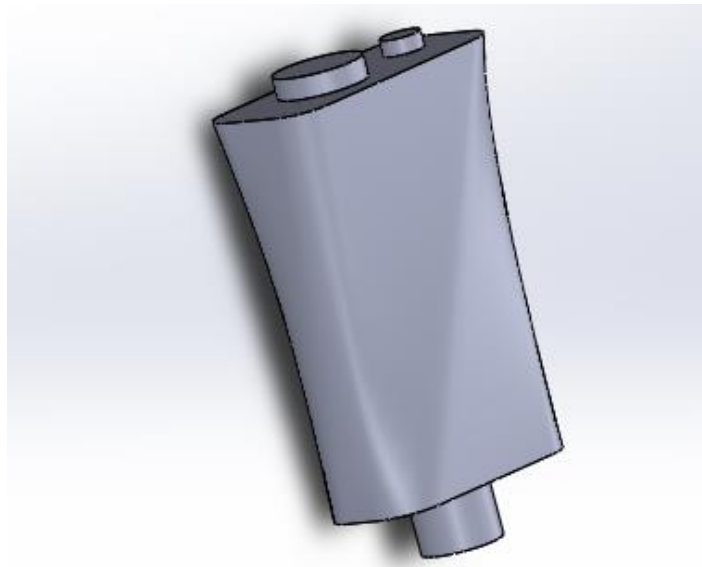


Figura 5.4 Colector de combustible. (39)

6. Cálculos sistema alimentación y fuerzas sufridas en el depósito.

6.1 Caudal consumido.

El caudal que se puede aportar al motor está limitado por un caudalímetro diseñado por la empresa Gill [5].

La normativa exige un caudal máximo de 100 Kg/h [4]. La densidad de nuestro combustible es 0,75 Kg/L.

Por tanto nuestro caudal expresado en litros es:

$$Q = \frac{100 \text{ Kg/h}}{0,75 \text{ Kg/L}} = 133.3 \text{ L/h}$$

Si convertimos este caudal a litros por segundo sabremos cual es el caudal máximo al que debe trabajar la bomba de alta presión que suministra directamente al motor.

$$Q = \frac{133.33 \text{ L/h}}{3600 \text{ seg/h}} = 0.037 \text{ L/seg}$$

En cuanto al otro sistema de bombas (baja presión) el funcionamiento es el siguiente: el colector tiene función de depósito intermedio (capacidad de 3,5 L), en el cual se sitúa un sensor de la empresa Gill, que dará una señal cuando el nivel se sitúe por debajo de 1,5 L y por tanto se pondrán en funcionamiento las bombas de alimentación a dicho colector.

El funcionamiento es sencillo, se administrará la cantidad de 2 L en 5 segundos; es decir, se vuelve a llenar el colector de gasolina. Este caudal debe ser repartido en las tres bombas correspondientes.

$$Q = \frac{2 \text{ L}}{5 \text{ s}} \cdot \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ L}} = 4 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{\text{individual}} = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{3(\text{N}^{\circ} \text{ bombas})} = 1,33 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

En los siguientes apartados se intentará crear una semejanza con respecto a un caso real; por tanto se ha elegido el circuito de Sochi (Rusia). Es uno de los más exigentes con el consumo de

combustible. El 64% del tiempo de la vuelta el piloto debe ir con el pie a fondo. Como es lógico, en ese momento es cuando el motor necesita mayor aporte de combustible.

El ganador en 2016 empleó un tiempo de 1 hora, 32 min y 42 segundos en finalizar un total de 53 vueltas. Sabiendo que el consumo total permitido son 133.3 Litros (100 Kg).

El consumo medio por vuelta será:

$$Q_{medio} = \frac{133.33 L}{53 vueltas} = 2,51 L/vuelta$$

6.2 Calculo de bombas de alimentación.

6.2.1 Teoría flujo de conductos.

Para poder calcular la potencia máxima a la que se verán sometidas las diferentes bombas del sistema se debe explicar la teoría del flujo en conductos. [9]

La ecuación que se emplea para poder analizar este flujo se denomina ecuación de Bernoulli, con pérdidas de presión entre los puntos de una línea de corriente.

Para poder aplicar dicha ecuación se deben cumplir tres condiciones:

1. El flujo que se analiza debe ser estacionario o cuasi-estacionario.
2. La densidad debe ser constante.
3. El efecto de la viscosidad no debe ser predominante.

Ecuación 6.1: Bernoulli.

$$\left(p_1 + \rho \frac{V_1^2}{2} + \rho g h_1\right) - \left(p_2 + \rho \frac{V_2^2}{2} + \rho g h_2\right) = \text{Pérdidas} - \text{Ganancias}$$

Para obtener la expresión que se pueda aplicar en este sistema en concreto se deben analizar por separado las pérdidas y ganancias.

Las pérdidas de presión se dividen en tres grupos: primarias, secundarias y terciarias.

Pérdidas primarias por viscosidad cinemática o rugosidad: son provocadas por la fricción entre el fluido (gasolina) y la tubería. Esta fricción se produce por la rugosidad de la tubería (ϵ) y por la viscosidad del fluido (μ).

El proceso utilizado para calcular estas pérdidas se denomina análisis dimensional.

Las variables de las que van a depender dichas perdidas serán: longitud (L), diámetro (D), viscosidad (μ), densidad (ρ), velocidad (V) y rugosidad (ϵ). Un total de 7 variables.

Ecuación 6.2: Análisis dimensional de pérdidas primarias.

$$\frac{\Delta P}{\rho \frac{V^2}{2}} = f \left(\frac{L}{D}, \frac{\epsilon}{D}, Re_D \right)$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \text{Rugosidad relativa}$$

$$Re_D = \text{Numero de Reynolds para el diametro}$$

$$f = \text{Coeficiente de friccion o factor de Darcy}$$

Como se puede observar, en un tramo definido la relación entre longitud y diámetro no es variable y se puede extraer de la función.

Ecuación 6.3: Análisis dimensional de pérdidas primarias final.

$$\Delta P = \rho \frac{V^2}{2} f \left(\frac{\epsilon}{D}, Re_D \right)$$

Este factor, como se puede observar, depende de dos variables: la rugosidad y el número de Reynolds.

La rugosidad puede ser de tres maneras diferentes, lo que producirá cambios en las variables que dependen del factor de Darcy. Las tuberías pueden ser lisas $\left(\frac{\epsilon}{D} = 0\right)$, por tanto f solo dependerá de Reynolds. Otro tipo de tuberías son las rugosas, en este caso el factor dependerá de ambas variables y por último muy rugosas, en las cuales el valor será tan elevado que se puede despreciar la variable del número de Reynolds.

El número de Reynolds o régimen de flujo varía según sea su viscosidad y velocidad en el interior de la tubería. Se clasifica los regímenes y se cuantifica la influencia de la viscosidad de la siguiente manera:

$$1. Re_D \leq 2300$$

Régimen laminar: flujo ordenado donde domina la viscosidad.

$$f = \frac{64}{Re_D}$$

$$2. 2300 \leq Re_D \leq 5 \cdot 10^5$$

Régimen de transición: se combina flujo ordenado con flujo turbulento.

$$f = f\left(\frac{\epsilon}{D}, Re_D\right)$$

$$3. Re_D \geq 5 \cdot 10^5$$

Régimen turbulento: el flujo es desordenado y dominan las fuerzas de inercia sobre la viscosidad.

$$f = f\left(\frac{\epsilon}{D}\right)$$

La obtención del factor de Darcy se puede calcular de dos maneras diferentes.

1. Formula de Colebrook o expresión analítica.

Ecuación 6.4: Formula de Colebrook.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{\frac{\epsilon}{D}}{3,7} + \frac{2,51}{Re_D \sqrt{f}}\right)$$

$$Tuberías lisas: \frac{\epsilon}{D} = 0 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{2,51}{Re_D \sqrt{f}}\right)$$

$$Tuberías rugosas: \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{\frac{\epsilon}{D}}{3,7} + \frac{2,51}{Re_D \sqrt{f}}\right)$$

$$Tuberías muy rugosas: Re_D \gg 1 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{\frac{\epsilon}{D}}{3,7}\right)$$

Se observa en la fórmula que el factor de fricción aparece dos veces en la ecuación y dentro de un logaritmo. En la mayoría de cálculos de este tipo no se conoce la velocidad y por tanto se debe iterar. El proceso será el siguiente: se supone un Reynolds infinito. Se obtiene una f denominada f^0 , con esta f se calcula un número de Reynolds Re_D^0 en la ecuación de Bernoulli. Posteriormente en la ecuación de Colebrook con Re_D^0 y f^0 se calcula un f^1 . El proceso de iteración se dará por finalizado cuando $f^{n-1} \cong f^n$ y $Re_D^{n-1} \cong Re_D^n$.

2. Diagrama de Moody.

Se trata de una gráfica logarítmica, representada por varios ejes: a la izquierda está situado el factor de fricción, a la derecha se puede observar la relación entre la rugosidad y su diámetro ($\frac{\epsilon}{D}$) y por último en el eje inferior el número de Reynolds.

En dicho diagrama se pueden observar las zonas que corresponden a las tuberías rugosas (zona superior), tuberías lisas (zona inferior) y una línea que identifica el régimen laminar previamente explicado.

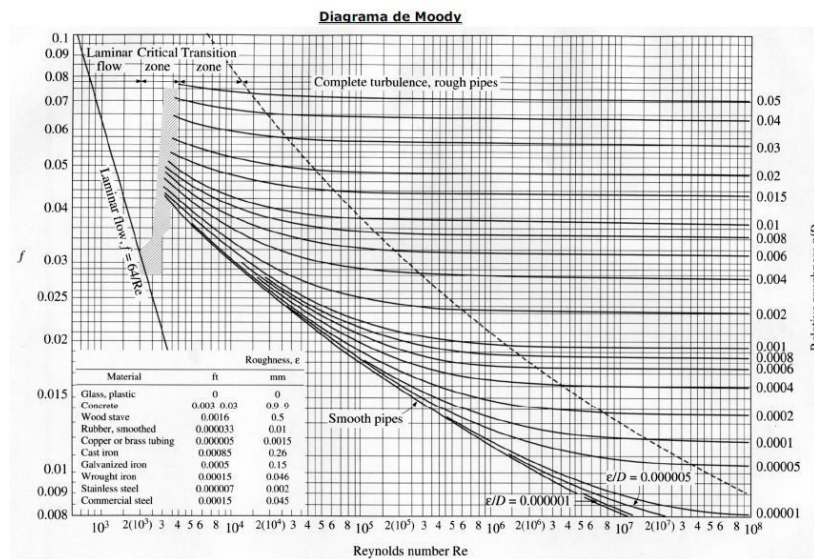


Figura 6.1 Diagrama de Moody. (40)

Pérdidas secundarias o locales: son variaciones de presión que se deben a la geometría del conducto y a posibles elementos que intervienen en el sistema como por ejemplo válvulas, filtros, etc.

Las diferencias de presión secundarias se cuantifican:

Ecuación 6.5: Perdidas de presión secundarias.

$$\Delta P = \rho \frac{V^2}{2} \left(\sum_i K_i \right)$$

Donde K_i es el coeficiente de pérdida de carga. Estos coeficientes vienen dados en tablas y sus coeficientes provienen de un codo en una red de tuberías, una bifurcación, unos filtros en el sistema, unas válvulas, posibles contracciones o

expansiones bruscas, entradas o salidas del fluido con una geometría peculiar que provocan estos coeficientes.

Pérdidas terciarias o debidas a Turbomáquinas: son aquellas donde el fluido realiza un trabajo, por ejemplo las turbinas.

Ecuación 6.6: Pérdidas de presión Turbina.

$$\Delta P = \frac{\dot{W}_T}{Q} = \rho g h_T$$

$h_T = \text{altura de la turbina}$

El último elemento de la ecuación son las ganancias de presión: es el único dispositivo que origina una diferencia de presión positiva, es la Turbomáquina la que ejerce presión sobre el fluido (en este proyecto las bombas).

Ecuación 6.7: Ganancias de presión Bomba.

$$\Delta P = \frac{\dot{W}_{Bomba}}{Q} = \rho g h_{Bomba}$$

$h_{Bomba} = \text{altura de la bomba}$

Por tanto, la ecuación resultante para analizar las pérdidas de presión en un flujo y teniendo en cuenta todos los posibles elementos es:

Ecuación 6.8: Bernoulli con pérdidas y ganancias (primarias, secundarias y terciarias).

$$\left(p_1 + \rho \frac{V_1^2}{2} + \rho g h_1 \right) - \left(p_2 + \rho \frac{V_2^2}{2} + \rho g h_2 \right) = \rho \frac{V^2}{2} \left[\frac{L}{D} f + \sum_i K_i \right] + \frac{\dot{W}_T}{Q} - \frac{\dot{W}_{bomba}}{Q}$$

6.2.2 Cálculo de las bombas del sistema.

Con la teoría de flujo de conductos explicada se procede a analizar el caso específico de nuestro sistema de alimentación. Se realizará un estudio de las bombas que alimentan al colector simplificando el proceso. Conociendo el caudal se dividirá entre 3, debido a que el colector es alimentado por tres bombas. Se analizará el caso más desfavorable para la bomba de alimentación, que se producirá cuando tenga que aportar el caudal máximo permitido y cuando la diferencia de presión entre el punto de partida y el punto final sea la máxima posible (depósito lleno).

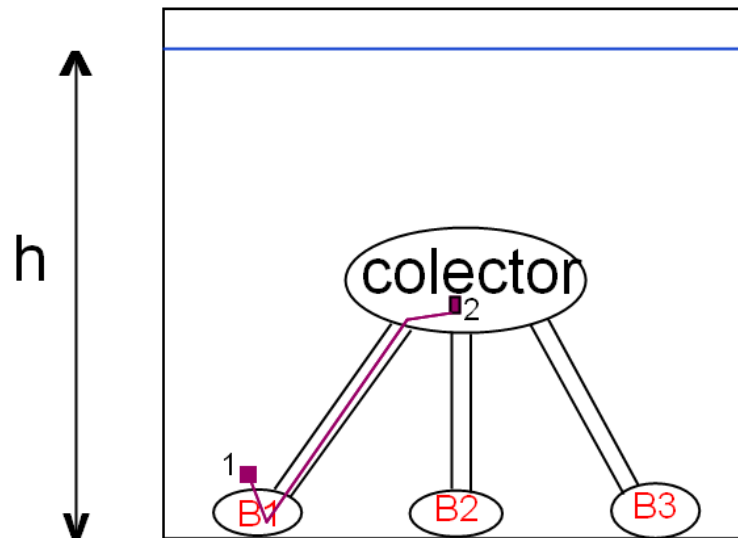


Figura 6.2 Enunciado cálculo de potencia de la bomba. (41)

El sistema de alimentación se compone de tres bombas eléctricas, que son las encargadas de introducir el combustible en el colector. Este colector tiene una capacidad de 3,5 Litros y una presión de 3 bar en su interior. En las tuberías de unión entre estos dos elementos existe una válvula que solo permitirá el paso del combustible si como mínimo su presión es de 3 bar. Por tanto nuestros datos de partida son el caudal máximo y la presión de salida de la bomba. Las demás incógnitas son facilitadas por la fase de diseño (como diámetro, longitud, etc). En cambio, los valores de las pérdidas debidas a su geometría se toman de la bibliografía. [9]

Datos de partida:

$$P_s = 3 \text{ bar} = 3 \text{ bar} \frac{100.00 \text{ pa}}{1 \text{ bar}} = 300 \text{ KPa} = p_2$$

$$Q_{individual} = 1,33 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$\sum_i K_i = K_{valvula} + K_{codo} + K_{entrada} + F_{filtro} = 2,5 + 0,4 + 0,5 + 1,2 = 4,6$$

Longitud de la tubería (L) = 550 mm

Densidad gasolina (ρ)= 750 Kg/m³

Diámetro de la tubería (D) = 12 mm

Velocidad punto 1 (V_1) = 0

Altura del punto 1 (h_1) = 0 mm

Velocidad punto 2 (V_2) = 0

Altura del punto 2 (h_2) = 350mm = $3,5 \cdot 10^{-3}m$ Rugosidad (ϵ)= $0,0015 \cdot 10^{-3}m$

Ecuación 6.8: Bernoulli con pérdidas y ganancias (primarias, secundarias y terciarias).

$$\left(p_1 + \rho \frac{V_1^2}{2} + \rho g h_1\right) - \left(p_2 + \rho \frac{V_2^2}{2} + \rho g h_2\right) = \rho \frac{V^2}{2} \left[\frac{L}{D} f + \sum_i K_i \right] - \frac{\dot{W}_{bomba}}{Q_{Bomba}} + \frac{\dot{W}_T}{Q}$$

Calculo p_1 :

Fluidoestática.

$$p + \rho g z = C \rightarrow \text{Cuando } z=h \rightarrow p=p_a \rightarrow C = p_a + \rho g h$$

$$p + \rho g z = p_a + \rho g h \rightarrow \text{Se despeja } p \rightarrow p = p_a + \rho g (h - z)$$

Para calcular la presión en el fondo del depósito se introduce la altura correspondiente, es decir $z=0$ y se calcula p_1 .

$$p_1 = p_a + \rho g h_1 = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa} + 750 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 500 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 103,67 \text{ KPa}$$

$$p_1 = p_a$$

Datos:

p =presión.

C = constante.

p_a = presión atmosférica.

z = altura.

g =gravedad.

Cálculo de f :

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

Re = número de Reynolds

μ = Viscosidad cinemática

Conociendo el caudal requerido y sabiendo la velocidad en la tubería se calcula el diámetro del conducto. Para poder calcular el valor de Reynolds.

$$Q = V \cdot A \rightarrow V = \frac{Q}{A} = \frac{Q_{bomba}}{A} = \frac{1,33 \cdot 10^{-4}}{1,13 \cdot 10^{-4}} = 1,17 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow A = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Re = \frac{750 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,17 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 12 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{2,9 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} = 36.495,87$$

$2300 \leq Re_D \leq 5 \cdot 10^5$ Régimen de transición

$$f = f\left(\frac{\epsilon}{D}, Re_D\right)$$

Ecuación 6.4: Formula de Colebrook.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{\frac{\epsilon}{D}}{3,7} + \frac{2,51}{Re_D \sqrt{f}}\right)$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,0015 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 10^{-3}} = 1,25 \cdot 10^{-4}$$

Para poder calcular la f para el sistema se realiza mediante el proceso de iteración que consiste en lo siguiente: primero se supone un $Re = \infty$ lo que significa despreciar el segundo término dentro del logaritmo en la ecuación de Colebrook.

Se obtendrá un f_1 , que se introducirá posteriormente en la ecuación de Colebrook otra vez y se volverá a resolver obteniendo un f_2 . Cuando $f_{1-i} \cong f_i$ se podrá finalizar con el proceso de iteración.

Iteración:

$$\frac{1}{\sqrt{f_1}} = -2 \log\left(\frac{\frac{\epsilon}{D}}{3,7}\right) \rightarrow f_1 = 0,0125$$

$$\frac{1}{\sqrt{f_2}} = -2 \log\left(\frac{\frac{\epsilon}{D}}{3,7} + \frac{2,51}{Re_D \sqrt{f_1}}\right) \rightarrow f_2 = 0,0245$$

$$\frac{1}{\sqrt{f_3}} = -2 \log\left(\frac{\frac{\epsilon}{D}}{3,7} + \frac{2,51}{Re_D \sqrt{f_2}}\right) \rightarrow f_3 = 0,0236$$

$$\frac{1}{\sqrt{f_4}} = -2 \log\left(\frac{\frac{\epsilon}{D}}{3,7} + \frac{2,51}{Re_D \sqrt{f_3}}\right) \rightarrow f_4 = 0,0227$$

$$\frac{1}{\sqrt{f_5}} = -2 \log\left(\frac{\frac{\epsilon}{D}}{3,7} + \frac{2,51}{Re_D \sqrt{f_4}}\right) \rightarrow f_5 = 0,0228$$

$f_4 \cong f_5 \rightarrow$ El valor de f_5 es el que se aplicara en la siguiente ecuación.

Se despeja \dot{W}_{bomba} de la ecuación 6.8:

$$\frac{\dot{W}_T}{Q} = 0 \rightarrow \text{No existe ninguna turbomaquina en el sistema.}$$

$$\begin{aligned} \dot{W}_{bomba} &= \left\{ \left(p_2 + \rho \frac{V_2}{2} + \rho g h_2 \right) - \left(p_1 + \rho \frac{V_1}{2} + \rho g h_1 \right) + \rho \frac{V^2}{2} \left[\frac{L}{D} f + \sum_i K_i \right] \right\} Q_B = \\ &= \left\{ \left(300 KPa + 0 + 750 \frac{Kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 350 \cdot 10^{-3} m \right) - (103,67 KPa + 0 + 0) + 750 \frac{Kg}{m^3} \cdot \right. \\ &\quad \left. \cdot \frac{1,17^2}{2} \left(\frac{550 \cdot 10^{-3} m}{12 \cdot 10^{-3} m} \cdot 0,0228 + 4,6 \right) \right\} \cdot 1,33 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}; \end{aligned}$$

$$\dot{W}_{bomba} = (302,57 \cdot 10^3 - 103,67 \cdot 10^3 + 7.725,61) \cdot 1,33 \cdot 10^{-4} = 27,48 W$$

Se puede observar que la potencia necesaria para la bomba de alimentación al colector no es muy elevada, esto se debe a la pequeña cantidad de combustible que mueve el sistema.

Bomba alta presión:

De nuevo se realizará el cálculo correspondiente a la bomba de alta presión teniendo en cuenta las mismas ecuaciones y maneras de operar. En este caso el caudal total no deberá ser dividido, debido a que solo existe una bomba de alta presión en el sistema. También se pueden observar otros cambios como en la longitud de la tubería y su material. Este proceso será más sencillo que en el primer caso porque no se necesita calcular ninguna variable salvo la potencia necesaria de la bomba.

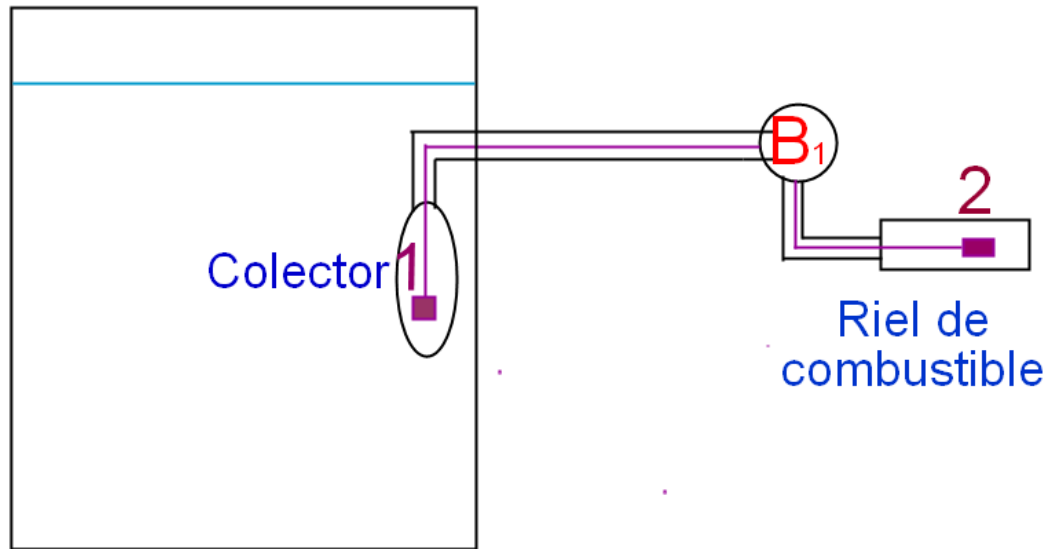


Figura 6.3 Enunciado cálculo de potencia de la bomba 2. (42)

Datos de partida:

$$\text{Presión 1 } (p_1) = 3 \text{ bar } \frac{100.000 \text{ pa}}{1 \text{ bar}} = 300 \text{ KPa} \quad \text{Presión 2 } (p_2) = 100 \text{ bar} = 10 \text{ MPa}$$

$$\text{Longitud de la tubería } (L) = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Densidad gasolina } (\rho) = 750 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Diámetro de la tubería } (D) = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Velocidad punto 1 } (V_1) = 0$$

$$\text{Altura del punto 1 } (h_1) = 350 \text{ mm} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad \text{Velocidad punto 2 } (V_2) = 0$$

$$\text{Altura del punto 2 } (h_2) = 500 \text{ mm} = 500 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad \text{Rugosidad } (\epsilon) = 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\sum_i K_i = K_{\text{valvula}} + K_{\text{codo}} + K_{\text{entrada}} + K_{\text{salida}} = 2,5 + 0,65 + 0,5 + 0,7 = 4,35$$

$$Q_{\text{max}} = 0,037 \frac{L}{s} = 3,7 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{s}$$

Ecuación 6.8: Bernoulli con pérdidas y ganancias (primarias, secundarias y terciarias).

$$\left(p_1 + \rho \frac{V_1^2}{2} + \rho g h_1 \right) - \left(p_2 + \rho \frac{V_2^2}{2} + \rho g h_2 \right) = \rho \frac{V^2}{2} \left[\frac{L}{D} f + \sum_i K_i \right] - \frac{\dot{W}_{\text{bomba}}}{Q_{\text{Bomba}}} + \frac{\dot{W}_T}{Q}$$

Cálculo de f : $Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \rightarrow$ se calcula V (velocidad)

Este apartado es diferente al anterior porque en este se estima una velocidad de 2 m/s para asegurar un correcto funcionamiento en el riel de combustible.

$$Q = V \cdot A \rightarrow A = \frac{Q}{V} = \frac{Q_{bomba}}{2} = \frac{3,7 \cdot 10^{-5}}{2} = 1,85 \cdot 10^{-5} m^2$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow D = 4,85 \cdot 10^{-3} m$$

$$Re = \frac{750 \frac{Kg}{m^3} \cdot 2 \frac{m}{s} \cdot 4,85 \cdot 10^{-3} m}{2,9 \cdot 10^{-4} \frac{Kg}{m \cdot s}} = 25.086,20$$

$$2300 \leq Re \leq 5 \cdot 10^5$$

Régimen de transición: se combina flujo ordenado con flujo turbulento.

$$f = f \left(\frac{\epsilon}{D}, Re \right)$$

Diagrama de Moody:

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,05}{10} = 5 \cdot 10^{-3}$$

$$Re = 25.086,20$$

$$f = 0,033$$

En este caso se ha empleado el método visual por medio del diagrama de Moody, explicado con anterioridad en la teoría de flujo de conductos. En el anterior apartado se realiza el método analítico y en este el visual, gracias a conocer el número de Reynolds y el coeficiente entre la rugosidad y el diámetro de la tubería. A continuación se aplicará la ecuación de Bernoulli y se despejará la potencia de la bomba. Por último se sustituirá todos los valores en sus correspondientes variables, al igual que en el cálculo de la bomba de baja presión.

Se despeja \dot{W}_{bomba} de la ecuación 6.8:

$$\frac{\dot{W}_T}{Q} = 0 \rightarrow \text{No existe ninguna turbomaquina en el sistema.}$$

$$\dot{W}_{bomba} = \left\{ \left(p_2 + \rho \frac{V_2}{2} + \rho g h_2 \right) - \left(p_1 + \rho \frac{V_1}{2} + \rho g h_1 \right) + \rho \frac{V^2}{2} \left[\frac{L}{D} f + \sum_i K_i \right] \right\} Q_B =$$

$$= \left\{ \left(10 \text{ MPa} + 0 + \left(750 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 500 \cdot 10^{-3} \text{ m} \right) \right) - \left(300 \text{ KPa} + 0 + \left(750 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 350 \cdot 10^{-3} \text{ m} \right) \right) \right.$$

$$\left. + 750 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2} \left(\frac{600 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{4,85 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \cdot 0,033 + 4,35 \right) \right\} \cdot 3,7 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}};$$

$$\dot{W}_{bomba} = (10.003,67 \cdot 10^3 - 302,57 \cdot 10^3 + 75,73 \cdot 10^3) \cdot 3,7 \cdot 10^{-5} = 362,74 \text{ W}$$

Se aprecia un mayor consumo respecto a las bombas de alimentación debido a varios factores como por ejemplo y el más importante, la diferencia de presiones que tiene que producirse entre la entrada y la salida, que es 33 veces mayor que en el primer caso. A esto se le puede añadir un mayor caudal y una mayor velocidad debido a la reducción del diámetro de la tubería.

6.3 Cálculo de fuerzas que sufre el depósito.

En este proyecto se ha diferenciado las 4 direcciones distintas de fuerzas que puede sufrir un monoplaça en un circuito. Una fuerza provocado por: giro a derechas, giro a izquierdas, una frenada y por último una aceleración.

Durante el cálculo de dichas fuerzas se distinguen dos tipos de masas: una corresponde a la masa del depósito ($m_{\text{Depósito}}$) y la otra es aquella que determina la masa total del vehículo (m). Según la reglamentación el peso del monoplaça no puede ser inferior a 702 Kg sin combustible (Artículo 4.2), sumándole el combustible (100 Kg) la masa total del vehículo es 802 Kg. **[4]** Esta masa será aplicada para el cálculo de aceleraciones, mientras que la primera será para poder determinar la fuerza sufrida en el depósito.

La mayor fuerza que sufre el depósito se produce cuando el monoplaça realiza una fuerte frenada. Como ya se ha citado en el apartado 6.1, el circuito en el que se probará el diseño de este depósito es el circuito de Rusia (Sochi).

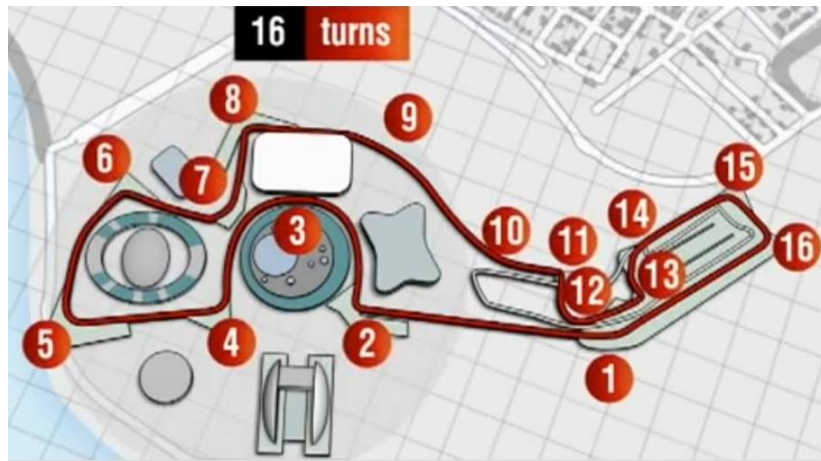


Figura 6.4 Circuito Sochi (Rusia). (43)

Antes de empezar con el cálculo de fuerzas se muestra en la siguiente figura los ejes de referencias que se toman para poder entender la dirección de cada fuerza en particular.

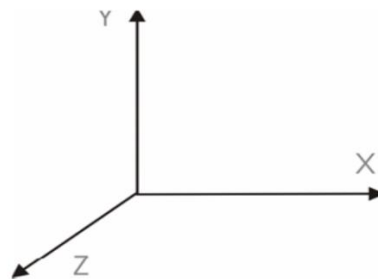


Figura 6.5 Ejes de referencia. (44)

El primer cálculo a realizar será el correspondiente a la frenada, este sistema es el encargado de reducir la velocidad del vehículo hasta incluso detenerlo si es necesario. En el cálculo de esta fuerza se asumirá que el movimiento se producirá en línea recta sin acciones laterales y que el vehículo sea un cuerpo rígido omitiendo la suspensión, así se producirá una simplificación en los cálculos con un resultado bidimensional. Otras suposiciones realizadas con la intención de una simplificación en los resultados es la ausencia tanto de peraltes en las curvas, como de pendientes en la aceleración y frenada calculadas. También se desprecia la dinámica de rotación de las ruedas con el objetivo de simplificar los cálculos y hacerse una idea bastante aproximada a la realidad, ya que el objetivo es el estudio estructural y no el análisis de los resultados previos.

Las principales fuerzas de frenado son aquellas que produce el neumático con la calzada y se pueden dividir en dos: aquellas que están impuestas por el límite de adherencia y aquellas que son producidas por el sistema de frenos.

Como se podrá observar en el siguiente cálculo de tracción del monoplaza, aquellas fuerzas producidas por el límite de adherencia serán las que limiten la máxima capacidad de frenado del monoplaza. Las fuerzas correspondientes al sistema de frenado son mayores que las de adherencia, por lo tanto el monoplaza está limitado por aquellas que tienen un valor más pequeño. En el caso que el sistema de frenos fuese inferior a la adherencia se aplicaría la fuerza del sistema de frenos para el estudio.

Los posibles problemas que puede sufrir un monoplaza respecto a su límite de adherencia son el bloqueo de la rueda y la posterior disminución del coeficiente de adherencia. Si bloquea las ruedas puede sufrir un cambio en la dirección de marcha y la posible pérdida del control del vehículo. Si el coeficiente disminuye la fuerza de adherencia se verá reducida también y no sufrirá la máxima deceleración posible. Por tanto no será un resultado a tener en cuenta en este estudio. [10]

En este estudio el objetivo no es detallar el sistema de frenado ni de tracción del monoplaza, el objetivo es el cálculo de la aceleración máxima que pueda sufrir el monoplaza en las diferentes situaciones descritas anteriormente.

La ecuación que se utilizará en el cálculo tanto de tracción como frenado será la siguiente:

Ecuación 6.9 Límite de adherencia máximo en el monoplaza.

$$F_f = \mu_{adh} \cdot F_y$$

Siendo: F_y = la fuerza vertical soportada en las ruedas.

En este cálculo el monoplaza tendrá una velocidad elevada y debemos tener en cuenta los efectos aerodinámicos producidos. Como se ha citado anteriormente, el cálculo será bidimensional, por tanto las posibles fuerzas aerodinámicas serán dos: la primera se denomina resistencia al avance, en este caso producida en el eje X. La segunda se denomina fuerza de sustentación, que tendrá un efecto importante en la fuerza vertical sufrida en las ruedas, por tanto en el eje Y. Estas últimas son provocadas en sentido negativo con el objetivo de aumentar la adherencia del vehículo al suelo (los elementos que producen este efecto son por ejemplo alerones, difusores, spoilers, etc).

Ecuación 6.10 Fuerza de resistencia al avance (F_{xa})

$$F_{resistencia\ al\ avance} = \frac{1}{2} \rho_{aire} \cdot A_x \cdot C_x \cdot v^2$$

Ecuación 6.11 Fuerza de sustentación (F_{ya})

$$F_{sustentacion} = \frac{1}{2} \rho_{aire} \cdot A_y \cdot C_y \cdot v^2$$

Los valores fijados previamente, como el área, son calculados con las dimensiones del monoplaza según el reglamento de la FIA. Sin embargo los coeficientes aerodinámicos y de adherencia son aportados por la bibliografía.

A continuación se introducen las condiciones en las que se realizará el cálculo de la deceleración y la posterior aplicación de la teoría recientemente explicada. [11]

6.3.1 Cálculo de la fuerza de frenado.

La deceleración más pronunciada se produce en la curva 2 del circuito. En este tramo el monoplaza pasa de una velocidad máxima del circuito de 325 Km/h, a aproximadamente unos 100 Km/h.

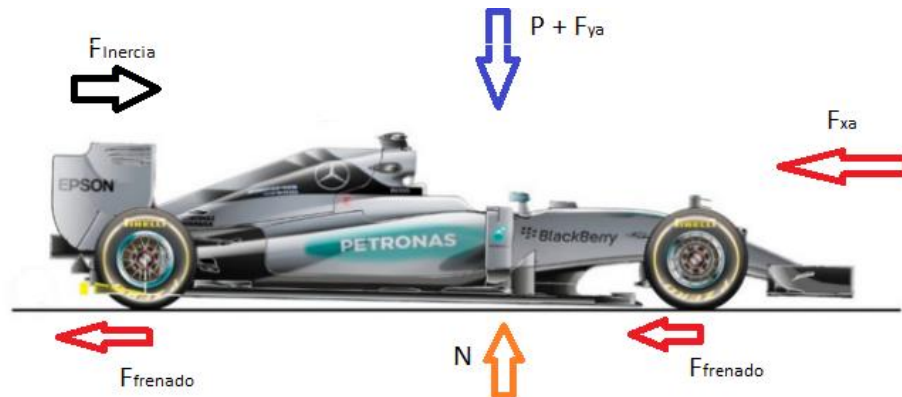


Figura 6.6 Fuerzas producidas en la frenada. (45)

Datos de partida:

Velocidad inicial $\rightarrow V_0 = 325 \frac{Km}{h} = 90,27 \frac{m}{s}$

Coeficiente sustentación $\rightarrow C_y = 1,05$ [11]

Área de sustentación $\rightarrow A_y = Longitud \cdot Anchura = 4 \cdot 0,65 = 2,6 m^2$ [4]

Coeficiente aerodinámico $\rightarrow C_x = 0,85$ [11]

Área $\rightarrow A_x = Altura \cdot Anchura = 0,7 \cdot 1,6 = 1,12 m^2$ [4]

Coeficiente de adherencia $\rightarrow \mu = 1,8$ [11]

Masa del vehículo $\rightarrow m = 802 Kg$

Densidad del aire $\rightarrow \rho_{aire} = 1,225 \frac{Kg}{m^3}$

Ecuación 6.12 Cálculo de la aceleración de frenada. [12]

$$\sum F = m \cdot a$$

Eje X: $m \cdot a = F_{frenado} + F_{xa}$

$$F_{frenado} = \mu \cdot F_y = \mu \cdot N$$

$$F_{resistencia\ al\ avance} = \frac{1}{2} \rho_{aire} \cdot A_x \cdot C_x \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 1,12 \cdot 0,85 \cdot 90,27^2;$$

$$F_{xa} = 4.751,49\ N$$

Eje Y: $N = F_{ya} + Peso = 13625,59 + 7867,62 = 21.493,21\ N$

$$F_{sustentacion} = \frac{1}{2} \rho_{aire} \cdot A_y \cdot C_y \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 2,6 \cdot 1,05 \cdot 90,27^2$$

$$Peso = m \cdot g = 802 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 7.867,62\ N$$

$$m \cdot a_1 = (\mu \cdot N) + 5749,7 = (1,8 \cdot 21493,21) + 5749,7$$

$$a_1 \cdot m = 43.439,28\ N; \quad a_1 = \frac{43439,28}{802} = 54,16 \frac{m}{s^2}$$

Ecuación 6.13 Cálculo de Fuerza 1.

$$F_1 = a_1 \cdot m_{Depósito} = 54,16 \cdot (25 + 100) = 6.770,46\ N$$

$$m_{depósito} = m_{Kevlar} + m_{Combustible} = \rho_{Kevlar} V_{Depósito} + 100\ kg = 25kg + 100kg$$

$$\rho_{Kevlar} = 1440 \frac{Kg}{m^3}$$

$$V_{Depósito} = 17,35\ L = 0,01735\ m^3$$

6.3.2 Cálculo de la fuerza de tracción.

Se producirá en la salida de la parrilla cuando el coche esté parado y comience su marcha. El cálculo de esta fuerza es similar a la fuerza correspondiente en la frenada. La limitación en estos cálculos proviene de la adherencia de los neumáticos y la principal diferencia es que en este caso no se tienen en cuenta los efectos aerodinámicos; debido a que la velocidad inicial es nula. También cabe destacar en este apartado que los monoplazas en la Fórmula 1 están compuestos por una tracción trasera. Según la normativa **[4]** (artículo 4.2) el peso mínimo para los ejes delantero y trasero será 319 Kg y 376 Kg respectivamente. Por tanto el peso resultante en el eje trasero de acuerdo a la normativa será: 380 Kg + 100 Kg de gasolina aportados en su totalidad a dicho eje trasero. M eje trasero = 480 Kg.

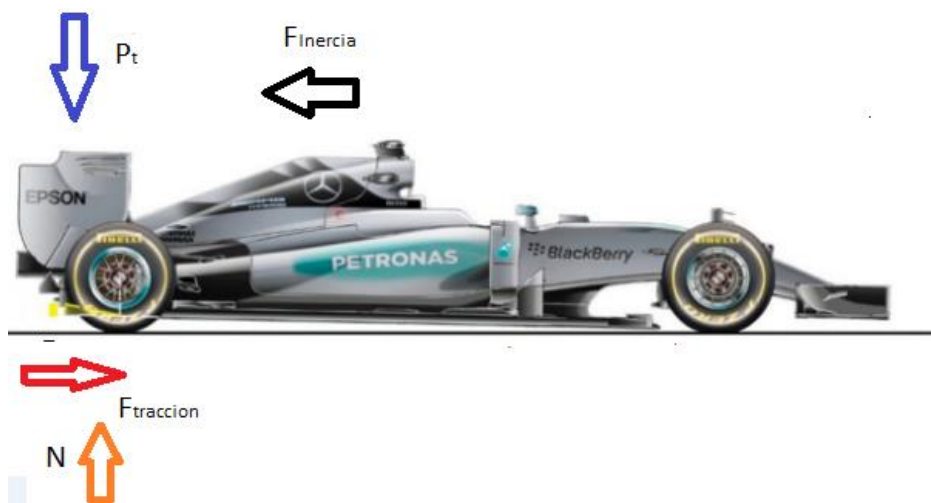


Figura 6.7 Fuerzas producidas en la aceleración. (46)

Datos de partida:

Coeficiente de adherencia $\rightarrow \mu = 1,8$ **[11]**

Masa del vehículo $\rightarrow m = 802 \text{ Kg}$

Velocidad inicial $\rightarrow V_0 = 0$

Masa eje trasero $\rightarrow m \text{ eje trasero} = 480 \text{ Kg}$ **[4]**

Ecuación 6.14 Cálculo de la aceleración de tracción. **[12]**

Eje X: $F_{Tracción} = m \cdot a_2$

$$F_{Tracción} = \mu \cdot N = \mu \cdot P_t$$

Eje Y: $N = P_t$

Peso= $m_{\text{eje trasero}} \cdot g = 4.708,8 \text{ N}$

$$F_{\text{Tracción}} = 1,8 \cdot 4.708,8 = 8.475,84 \text{ N}$$

$$m \cdot a_2 = 8.475,84 ; a_2 = 10,56 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Esta sería la fuerza soportada por el vehículo en estático y su respectiva aceleración. A continuación se tendrá en cuenta una transferencia de carga al eje trasero por el efecto de la inercia de masas. Por tanto esta carga aumentará en el eje trasero y provocará un aumento en la fuerza de adherencia.

Eje y

$$N = P_t + P_{\text{inercia}} = 4708,8 \text{ N} + \frac{m \cdot g \cdot a_2 \cdot h}{g \cdot L} ;$$

$$N = 5.238,12 \text{ N}$$

L (batalla)= 3,2 m **[4]**

h (altura centro de gravedad)= 0,2 **[13]**

$$F_{\text{Tracción}} = 1,8 \cdot 5.238,12 = 9.428,61 \text{ N}$$

$$m \cdot a_2 = 9.428,61 ; a_2 = 11,75 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Ecuación 6.13 Cálculo Fuerza 2.

$$F_2 = a_2 \cdot m_{\text{depósito}} = 11,75 \cdot 125 = 1.468,75 \text{ N}$$

6.3.3 Cálculo de la fuerza provocada por giro a izquierdas.

Este circuito se caracteriza por tener la curva más larga en los circuitos de la Fórmula 1, como se puede observar en la figura 6.4 (curva 3). A su vez es la curva donde el monoplaza pasa a mayor velocidad, por lo que será la que produzca una mayor fuerza en el depósito cuando el vehículo gire hacia la izquierda. La velocidad en esta curva es casi constante, aproximadamente 250 Km/h.

Datos de partida:

$$\text{Velocidad en curva (V)} = 250 \frac{\text{Km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{\text{Km}} \cdot \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} = 69,44 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ecuación 6.15 Cálculo de la aceleración centrípeta. [12]

Eje Z:

$$\sum F = 0 \rightarrow F_{\text{centrífuga}} = F_{\text{adherencia}}$$

$$F_{\text{adherencia}} = \mu \cdot N = \mu \cdot (m \cdot g + F_{\text{sustentación}})$$

$$F_{\text{centrífuga}} = m \frac{v^2}{r_1}$$

Eje Y:

$$F_{\text{sustentación}} + \text{Peso} = N$$

$$F_{\text{sustentación}} = \frac{1}{2} \rho_{\text{aire}} \cdot A_y \cdot C_y \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 2,6 \cdot 1,05 \cdot 69,44^2 = 8.062,84 \text{ N}$$

$$\text{Peso} = m \cdot g = 802 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 7.867,62 \text{ N}$$

$$m \frac{v^2}{r_1} = \mu \cdot N = \mu \cdot (m \cdot g + F_{\text{sustentación}})$$

$$\frac{v^2}{r_1} = a_3 = 35,75 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

En este caso la fuerza que interesa es aquella que te expulsa de la curva. Si se supone que el eje de referencia es "z" en un giro a izquierdas como es este caso, la fuerza tendrá dirección $+\vec{k}$ N.

Ecuación 6.13 Calculo Fuerza 3.

$$F_3 = a_3 \cdot m_{\text{depósito}} = 35,75 \cdot 125 = 4.469,26 \text{ N}$$

6.3.4 Cálculo de la fuerza provocada por giro a derechas.

Por último, falta el cálculo correspondiente a la curva con giro a derechas para obtener una visión total del comportamiento estructural del depósito en todas las direcciones posibles en un circuito. Este giro es más brusco en la curva número 5. Se puede observar en la imagen del circuito (Figura 6.4).

Datos de partida:

$$\text{Velocidad en curva} \rightarrow V = 130 \frac{\text{Km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{\text{Km}} \cdot \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} = 36,11 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ecuación 6.15 Cálculo de la aceleración centrípeta. [12]

Eje Z:

$$\sum F = 0 \rightarrow F_{\text{centrífuga}} = F_{\text{adherencia}}$$

$$F_{\text{adherencia}} = \mu \cdot N = \mu \cdot (m \cdot g + F_{\text{sustentación}})$$

$$F_{\text{centrífuga}} = m \frac{v^2}{r_2}$$

Eje Y:

$$F_{\text{sustentación}} + \text{Peso} = N$$

$$F_{\text{sustentación}} = \frac{1}{2} \rho_{\text{aire}} \cdot A_y \cdot C_y \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 2,6 \cdot 1,05 \cdot 36,11^2 = 2.180,33 \text{ N}$$

$$\text{Peso} = m \cdot g = 802 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 7.867,62 \text{ N}$$

$$m \frac{v^2}{r_2} = \mu \cdot N = \mu \cdot (m \cdot g + F_{sustentación})$$

$$\frac{v^2}{r_2} = a_4 = 22,55 \frac{m}{s^2}$$

En este caso la fuerza que interesa es aquella que te expulsa de la curva, si se supone que el eje de referencia es “z” en un giro a derechas como se produce en la curva número 5, la fuerza tendrá dirección - \vec{k} N.

Ecuación 6.13 Calculo Fuerza 4.

$$F_4 = a_4 \cdot m_{depósito} = 22,55 \cdot 125 = 2.818,93 \text{ N}$$

A continuación estas fuerzas calculadas en las diferentes condiciones citadas, se utilizarán para el estudio del comportamiento estructural del depósito, mediante el programa Ansys.

7. Ansys.

7.1 Introducción Ansys.

Los problemas en la ingeniería en general son modelos matemáticos en situaciones físicas. Los modelos matemáticos en muchos problemas ingenieriles son ecuaciones diferenciales con un conjunto de condiciones de contorno y condiciones iniciales. Las ecuaciones diferenciales provienen de la aplicación de leyes y principios en un volumen de control. Estas ecuaciones representan balances de masa, energía o fuerzas. La solución exacta a esas ecuaciones se debe al comportamiento detallado en el sistema, bajo el conjunto de condiciones dadas.

Todas las soluciones analíticas se componen de dos partes: una parte homogénea y una parte particular. En los problemas de ingeniería existen dos conjuntos de parámetros de diseño que influyen en el comportamiento del sistema.

- En primer lugar son aquellos parámetros que muestran información gracias al comportamiento natural del sistema dado. Estos parámetros incluyen el material, propiedades geométricas, y así como su módulo de elasticidad, conductividad térmica, viscosidad, área.
- Respecto al segundo conjunto de parámetros son aquellos que producen distorsiones en el sistema. Ejemplos de dichos parámetros son fuerzas exteriores, momentos, diferencias de temperatura, diferencias de presión en un fluido, etc.

Existen muchos ejemplos de problemas en ingeniería que no se puede resolver con exactitud. Esto puede atribuirse a la complejidad que tienen las ecuaciones diferenciales o la complejidad que provocan en el problema las condiciones de contorno e iniciales. Para poder tratar estos problemas de una manera eficiente, existen diferentes métodos de aproximación numéricos. No se resolverán el problema con total exactitud cómo puede pasar en los problemas analíticos, sino que en los problemas numéricos se obtendrá la solución idónea en algunos puntos del problema denominados nodos. El primer paso de cualquier proceso numérico es la discretización. Este proceso se encarga de dividir el problema en un número de pequeñas regiones y nodos. Existen dos tipos de métodos numéricos.

- Método de diferencias finitas: las ecuaciones diferenciales son escritas en cada nodo y las derivadas son remplazadas por las ecuaciones de diferencias. Esto aproxima un resultado similar al conjunto de unas ecuaciones lineales. Aunque el método de diferencias finitas es fácil de emplear y entender en problemas simples, pueden llegar a ser difícil de aplicar en problemas con complejas geometrías o complejas condiciones de contorno. También se dificulta el método si los materiales no son isotrópicos.
- El método de elementos finitos: este método se basa en el uso de integrales en vez de ecuaciones de diferencia, para crear un sistema algebraico de ecuaciones. Además, se asume que la función es continua y representa aproximadamente la solución para cada elemento. La solución completa será generada cuando se

conectan las soluciones individuales, permitiendo la continuidad de sus elementos de contorno.

Para poder realizar una pequeña introducción del programa Ansys (en este proyecto Ansys Workbench versión académica), se debe realizar una explicación referente al método de elementos finitos, en el que está basado este software.

El método de elementos finitos es un proceso numérico que suele ser usado para la obtención de soluciones en un amplio rango de procesos relacionados con la ingeniería, como por ejemplo: transferencia de calor, análisis de fuerzas, electromagnetismo, fluidos, etc.

El origen del moderno método debe buscarse a principios de 1900, cuando algunos investigadores aproximaron y modelaron elasticidad continua usando la discretización elástica equivalente de barras. Sin embargo, el primer investigador se dice que fue Courant en 1943, que usó la interpolación de una pieza por medio de subregiones triangulares para investigar problemas de torsión. Posteriormente Boeing usó los elementos triangulares de esfuerzo para modelar las alas de sus aviones.

En 1971 Ansys fue lanzado con más de cien mil líneas de código. Fue capaz de actuar en problemas estáticos, dinámicos, transferencia de calor y de fluidos. Lideró este tipo de sector durante 20 años. La versión actual tiene una nueva interface, en la cual puedes abrir ventanas incorporando gráficas, barras de herramientas, apartados dialogo, menús, etc.

Ansys es un potente software que tiene aplicaciones en multitud de campos. Sin embargo, el usuario necesita unos conocimientos básicos en el método de elementos finitos para poder aprovechar el software y llegar a unas conclusiones que se aproximen a la realidad.

Los pasos básicos en el método de elementos finitos son los siguientes:

1. Fase de preprocesado: crear y discretizar la solución del dominio en elementos finitos, lo que significa subdividir el problema en nodos y elementos. Asumir la forma que tiene la función que representa el comportamiento físico en el elemento. Desarrollar la ecuación en el elemento. Ensamblar los elementos que representan el problema en su totalidad y construir su matriz. Aplicar condiciones de contorno, iniciales y cargas.
2. Fase de solución: resolver el conjunto de ecuaciones lineales y no lineales simultáneamente para obtener soluciones en los nodos, como por ejemplo desplazamientos en dichos puntos o valores de temperatura en problemas de transferencia de calor.
3. Fase de resultados: obtener la información importante (observar los valores de los principales esfuerzos, flujos de calor, etc). **[14]**

7.2 Análisis en el depósito de combustible.

El uso del programa Ansys Workbench es bastante sencillo debido a que el programa te va pidiendo los datos necesarios para llegar a la conclusión y mostrarte los resultados.

El primer paso es seleccionar un estudio estático estructural en el que te aparecen varias pestañas para ir introduciendo los datos requeridos. El apartado que aparece en primer lugar

se denomina “*Engineering data*”, en el cual se debe seleccionar el material o materiales que participan en el estudio. En dicho apartado existen unas librerías de materiales que están compuestas de los materiales más comunes que se usan en los estudios aplicados a la ingeniería. También existe la opción de poder introducir materiales conociendo sus principales propiedades como el módulo de Young, la densidad o el coeficiente de Poisson.

En la siguiente tabla se pueden observar los dos tipos de materiales que componen nuestro depósito con sus principales propiedades.

Material	Densidad (Kg/m ³)	Módulo de Young (GPa)	Poisson
Kevlar 49	1440	131	0,36
Steel structural	7850	200	0,3

Tabla 7.1 Materiales del depósito. (3)

El material correspondiente al Kevlar 49, [15] se encuentra ubicado en la estructura del depósito, en cambio el acero estará presente en los soportes que permiten fijar el elemento al monoplaza. Se necesita un material algo más rígido y menos deformable para que cumpla bien su cometido.

El siguiente módulo en nuestro estudio estático estructural es “*Geometry*”, este es el encargado de cargar o diseñar la geometría de nuestro elemento a analizar, como indica su propio nombre. Normalmente este proceso es uno de los más laboriosos pero en este caso y en muchos otros solo se trata de cargar una geometría previamente diseñada con otros softwares más idóneos y específicos para el diseño de un elemento.

En este caso, como ya se ha mencionado, se ha utilizado el programa Solid Works y posteriormente se ha guardado con la extensión “.parasolid”, para el correcto funcionamiento en el programa de análisis. En este apartado, mientras se observa su geometría o en algún caso se diseña con este programa, se introduce la selección del material en la parte de “*Engineering data*”. El proyecto está compuesto de dos materiales diferentes: los soportes o anclajes para poder sujetar el depósito (compuestos de acero estructural, que se encuentra en la biblioteca de materiales por defecto) y el depósito, que estará construido con Kevlar 49, teniéndose que buscar sus propiedades para crear el material en la biblioteca de materiales.

El siguiente apartado se conoce como “*Conexions*”. En este apartado se determina los tipos de uniones que se realizan en el conjunto. En este caso son 3, debido a que tenemos tres piezas en el depósito, como se ha mencionado con anterioridad. Se unen las caras del depósito (tanto la frontal como las dos laterales) con la superficie de los soportes, que serán los encargados de anclar bien el depósito.

El tipo de conexión es simple, se denomina “*Bonded*” que significa unido.

La siguiente opción en el análisis se denomina “*Mesh*” y se trata del mallado de nuestro elemento. Las opciones en este apartado son diversas. Existen mallados más gruesos y con menos elementos que serán menos eficaces a la hora de obtener resultados fiables. Los

mallados que se componen de mayor número de elementos y nodos son más finos y precisos, pero tienen una desventaja, el tiempo de cálculo.

El proceso para el cálculo del depósito suele partir de realizar un mallado sencillo para poder hacer pruebas con las posibles condiciones iniciales idóneas, posteriormente cuando los resultados sean los deseados, realizar un mallado más preciso. Si se realizan las pruebas con un mallado muy preciso el tiempo de cálculo sería mucho más extenso y en definitiva, sería un proceso de análisis mucho más duradero.

El mallado definitivo en el depósito se compone de 25137 nodos y 12600 elementos. Este mallado no se puede considerar muy preciso ni muy exacto, debido a que se está usando la versión académica de Ansys y si elaboramos un mallado más complejo posteriormente con el cálculo de resultados nos aparece error por superar el límite de cálculos que soporta esta versión.

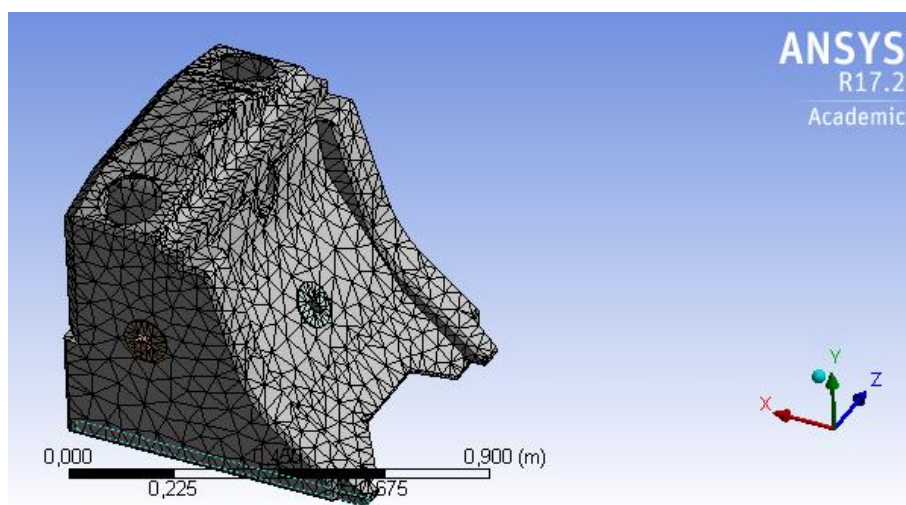


Figura 7.1 Mallado del depósito. (47)

Para el Caso 1, correspondiente a la fuerza 1: estas son las cargas estructurales a las que se somete el depósito (figura 7.2). Se puede observar en la figura 7.2 que existen 3 apoyos fijos que van anclados a nuestro depósito en la estructura del monoplaza y una fuerza en el sentido negativo del eje x que corresponde al valor calculado por la mayor frenada producida en el circuito de Sochi (apartado 6).

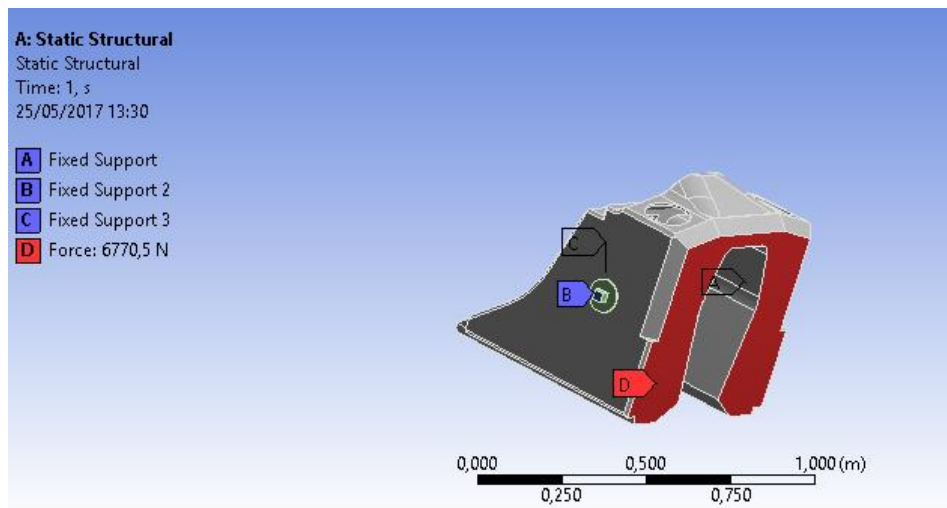


Figura 7.2 Depósito con cargas estructurales fuerza 1. (48)

Para el Caso 2, correspondiente a la fuerza 2: estas son las cargas estructurales a las que se somete el depósito (figura 7.3). Se puede observar en la figura 7.3 que la única diferencia respecto al caso 1 es la fuerza (tanto la magnitud como su sentido, ambos calculados y explicados en el apartado de cálculos).

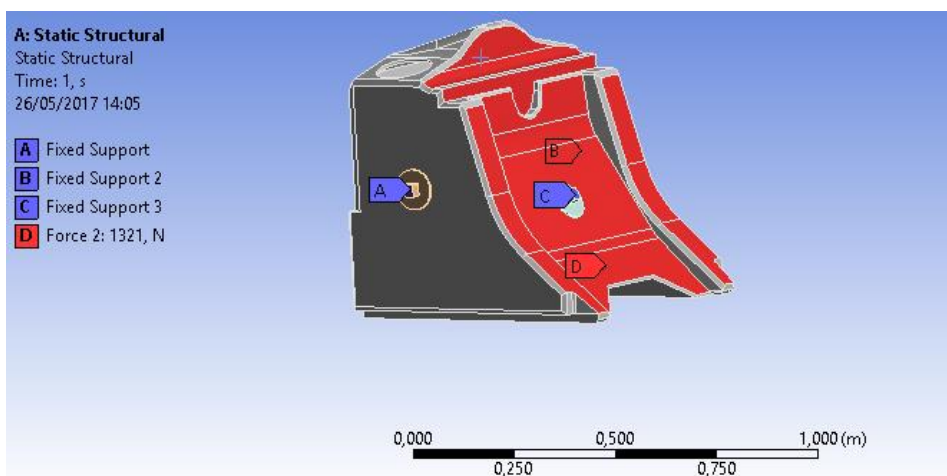


Figura 7.3 Depósito con cargas estructurales fuerza 2. (49)

En el Caso 3 se le aplica la fuerza correspondiente al cálculo realizado en el apartado anterior, cuando el vehículo realiza un giro a izquierdas con su magnitud y dirección correspondientes. Las uniones en los anclajes son idénticas que en casos anteriores y la fuerza está aplicada en la cara que se observa en la imagen.

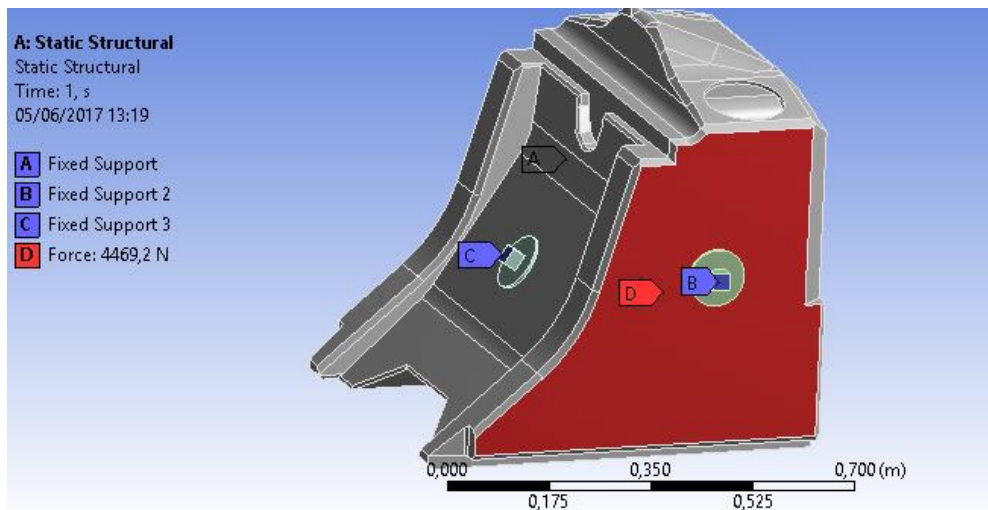


Figura 7.4 Depósito con cargas estructurales fuerza 3. (50)

Por último en el Caso 4 se parte de las siguientes cargas estructurales: en este caso la fuerza es inferior al Caso 3 y con dirección opuesta, debido a que el giro se produce en la dirección contraria. Lo único que varía en cada caso es el valor y dirección de la fuerza, ya que los anclajes y las conexiones son iguales para cada simulación.

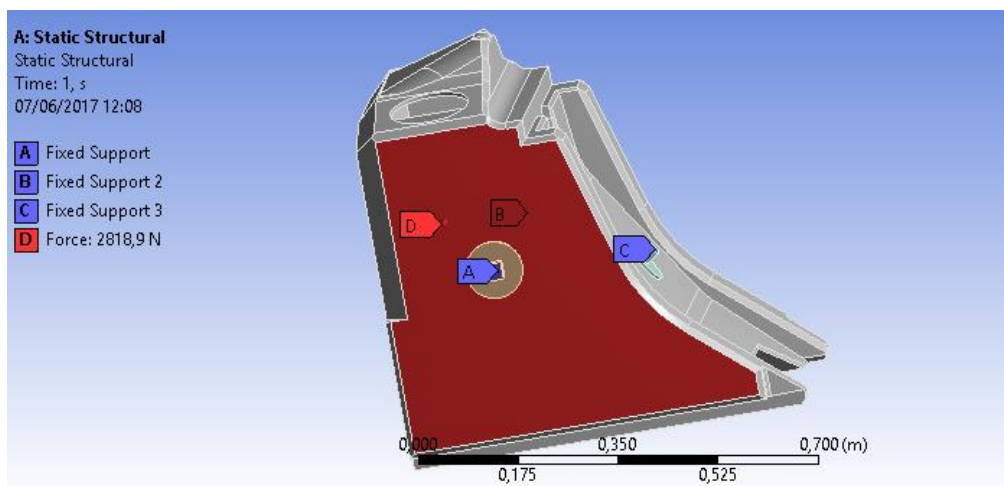


Figura 7.5 Depósito con cargas estructurales fuerza 4. (51)

8. Resultados.

Una característica del programa Ansys es la facilidad de la obtención de resultados, como se podrá observar a continuación. Las figuras muestran de una manera muy visual la obtención de dichos resultados previamente calculados.

Los siguientes estudios se han realizado mediante la pestaña “*Solution*” y en este apartado se indica que muestre los resultados de desplazamiento, deformación y tensión de Von-Misses.

La representación en Ansys se podría definir como muy exagerada porque el valor máximo es totalmente despreciable en cuanto al comportamiento final. En cambio, al observar la representación gráfica aparecen unos valores elevados respecto a los valores mínimos en otras partes del depósito. No obstante, la diferencia numérica real es de apenas centésimas de milímetro o variaciones mínimas de tensión.

En cuanto a las características del material, [15] se obtienen los resultados de elongación antes de rotura (2,4%) y elongación permanente (1,8%). Estos valores son los que determinan si el depósito sufre elongaciones viables o se fracturaría en el proceso.

8.1 Caso 1: Fuerza de frenado.

Desplazamiento:

En la figura 8.1 se puede observar las zonas donde sufrirá un mayor desplazamiento, pero nada que pueda ser relevante en el diseño del depósito, debido a que el desplazamiento es muy pequeño con un valor que no supera los 0.053 mm.

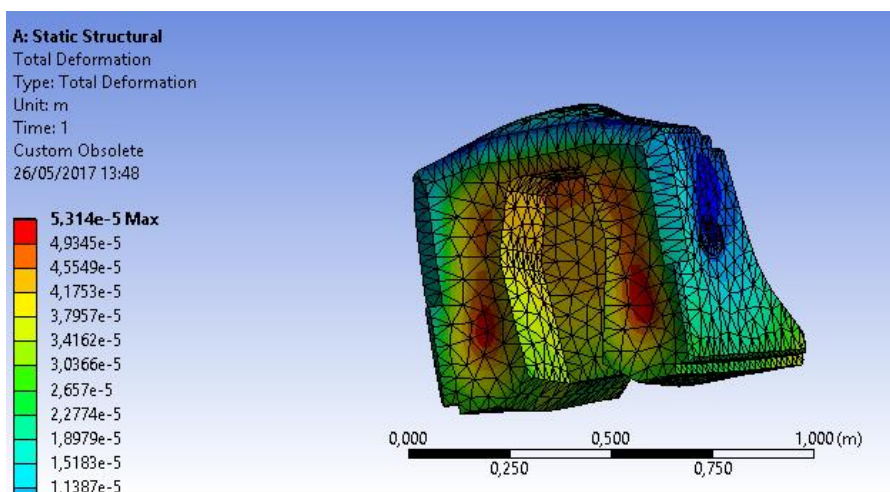


Figura 8.1 Desplazamiento caso 1. (52)

En la figura 8.2 se observa la parte inferior del depósito para ver una clara representación de las zonas más afectadas por el desplazamiento.

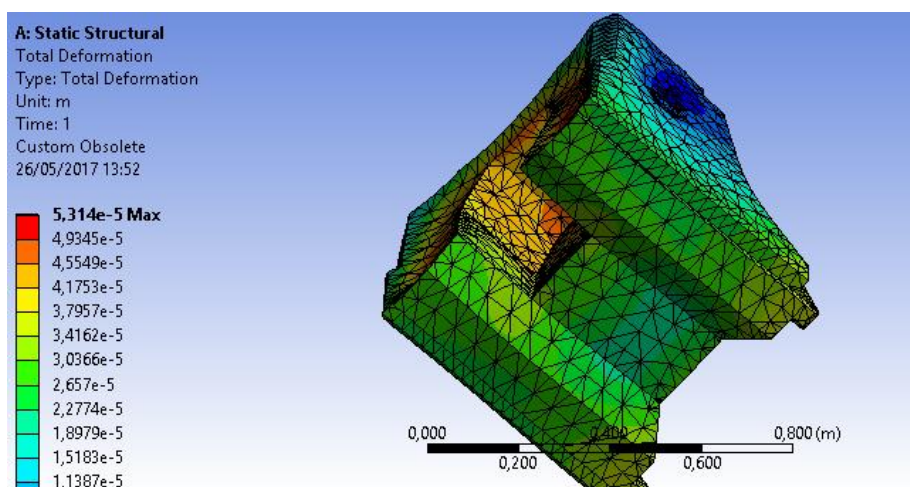


Figura 8.2 Desplazamiento Caso 1: zona inferior del depósito. (53)

Deformación:

Como es lógico, la mayor deformación sufrida será soportada en la zona correspondiente al anclaje del depósito. En la siguiente imagen se puede observar como se ve afectado solo uno de los dos soportes. En este caso será donde se observen mayores valores de deformación debido a que la mayor fuerza que soporta el depósito se produce en este caso. El anclaje que no se puede visualizar, situado en la posición simétrica en la cara paralela, sufrirá la misma deformación que el que se observa en la figura 8.3. También se observa una zona en la parte superior que sufre una mayor deformación en comparación con el resto del diseño. Pero como ya se ha citado con anterioridad, los valores son bastante similares a pesar de la posible confusión visual por el efecto de los colores.

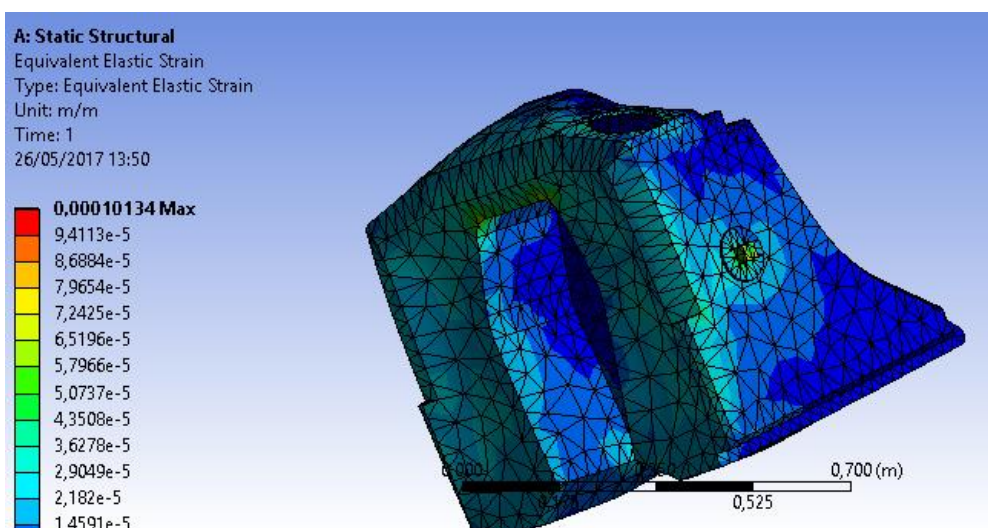


Figura 8.3 Deformación Caso 1. (54)

En la siguiente imagen se observa con más detalle la manera en la que está distribuida la deformación en el elemento de anclaje.

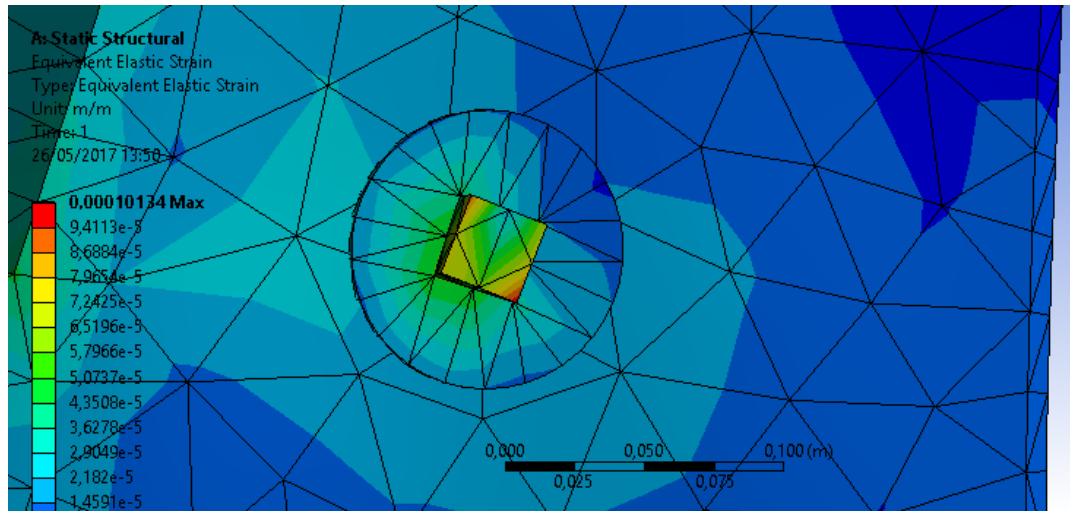


Figura 8.4 Deformación Caso 1: Detalle en el soporte. (55)

Tensión:

Se observa que tiene una distribución bastante similar a la deformación y como es lógico donde mayor tensión se produzca también se observa mayor deformación. El valor máximo que se produce es 20 Mpa. Como se comprobará más adelante este será el mayor valor de tensión que soportará nuestro depósito. Esto es producido por la fuerza que debe soportar para este caso, que es la mayor con respecto a los tres casos restantes. Aun así el valor máximo calculado está muy lejos del límite elástico aportado por el material “*Steel structural*” de valor 250 Mpa. [16]

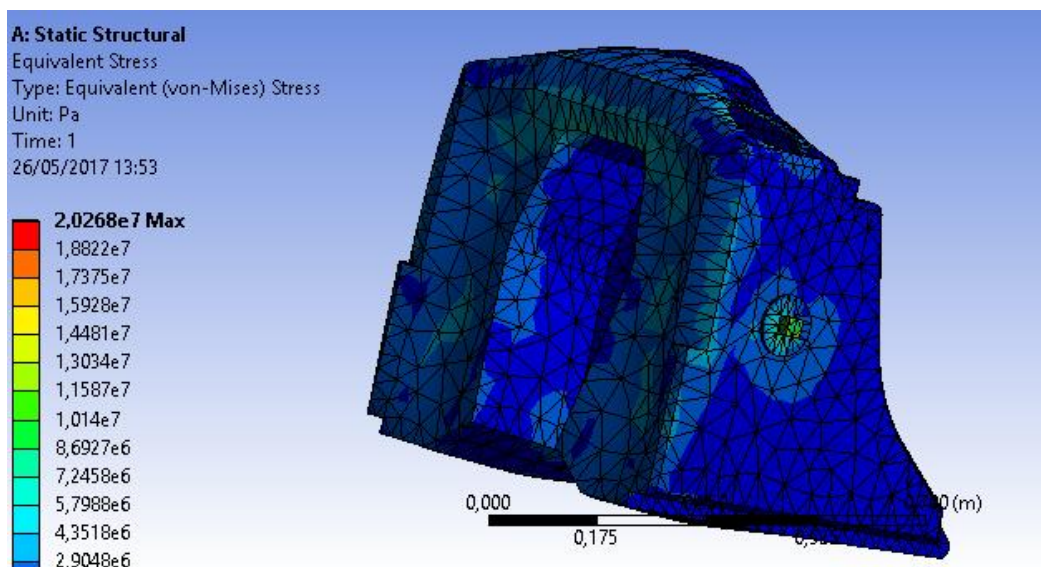


Figura 8.5 Tensión Caso 1. (56)

Detalle donde más tensión soporta para el Caso 1:

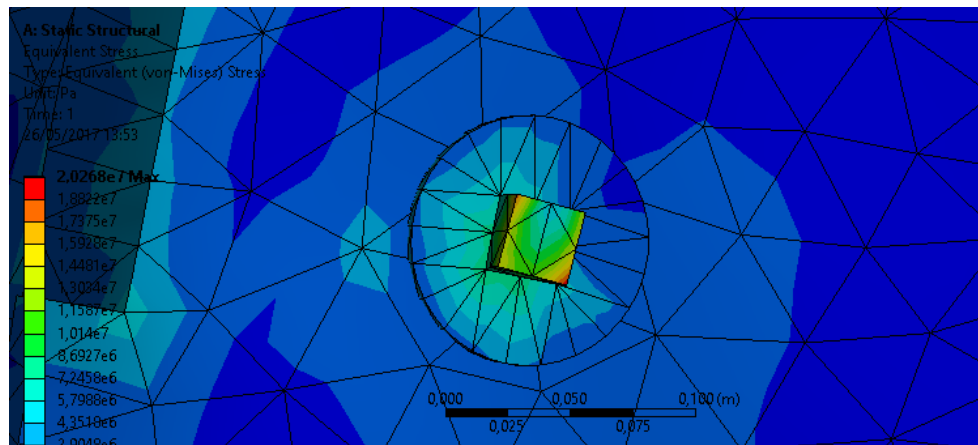


Figura 8.6 Tensión Caso 1: Detalle en el soporte. (57)

8.2 Caso 2: Fuerza de Tracción.

Desplazamiento:

Se observa mediante una vista frontal la obtención de resultados para el Caso 2 en lo que respecta a los desplazamientos. El valor máximo no supera los 0,017 mm, se concentra en la parte superior aproximadamente donde se situaría la cabeza del piloto.

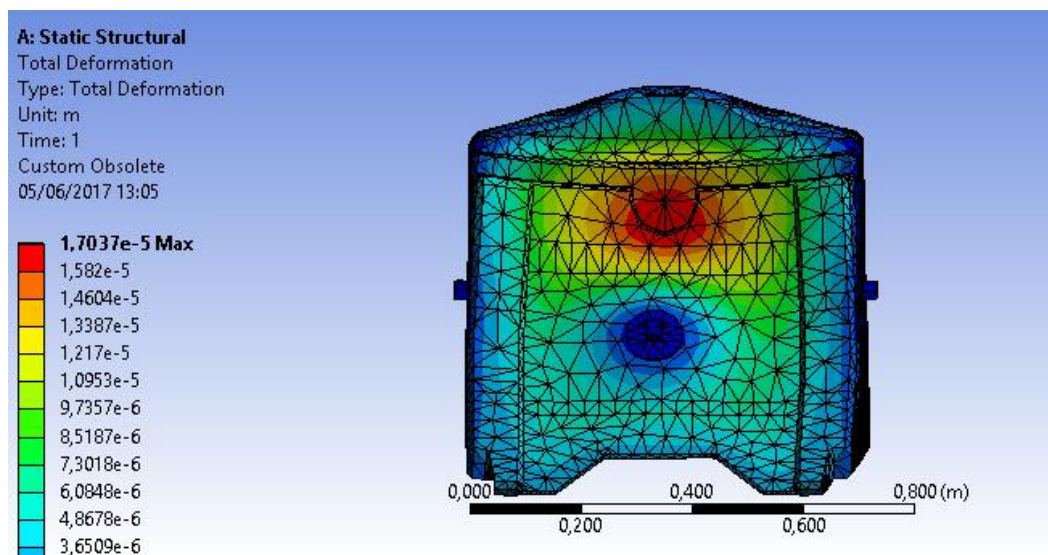


Figura 8.7 Desplazamiento Caso 2. (58)

Deformación:

Se concentran los valores de deformación en la parte superior del depósito, aunque los máximos estarán situados en los anclajes diseñados para la fijación del depósito. Estos valores no son preocupantes ya que estamos muy lejos de los límites que aporta el material de diseño.

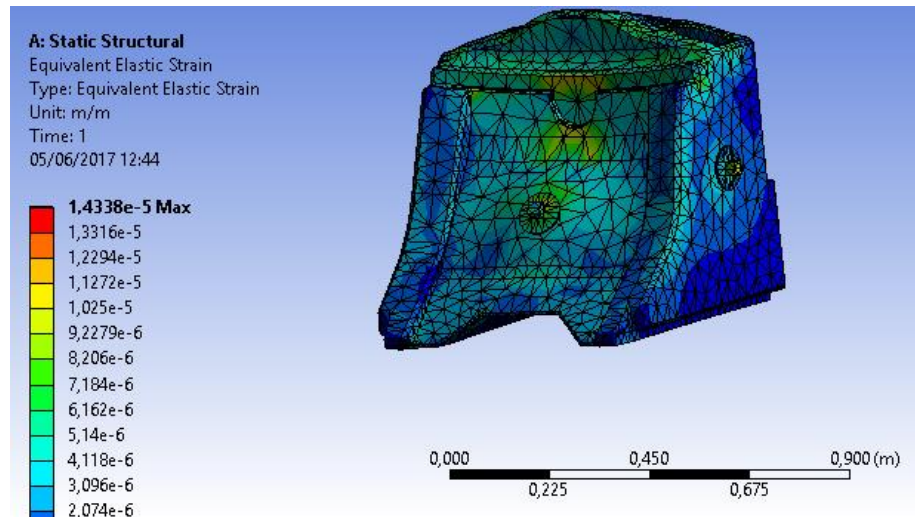


Figura 8.8 Deformación Caso 2. (59)

Como en el caso anterior y en los siguientes se mostrará una imagen que detalle mejor la distribución tanto de tensiones como deformaciones en nuestra parte más “crítica” en el diseño.

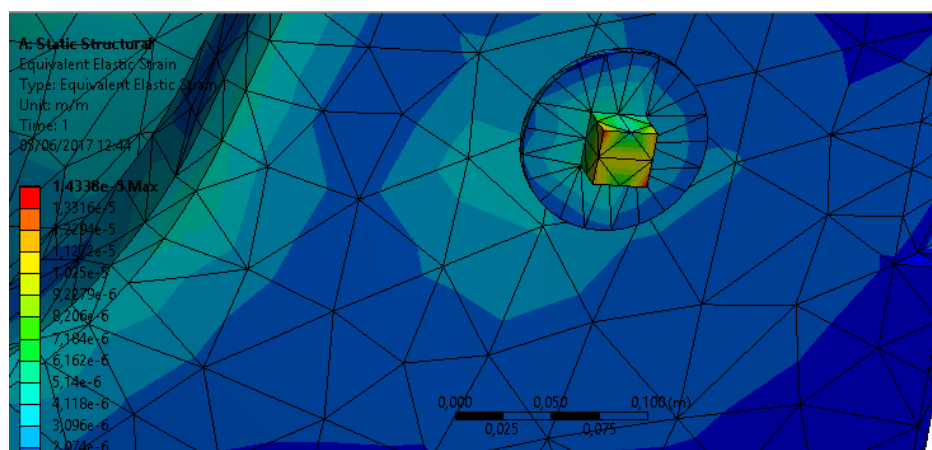


Figura 8.9 Deformación Caso 2: Detalle anclaje. (60)

Tensión:

En la siguiente imagen se puede observar para el Caso 2 una vista frontal de la distribución de tensiones en el depósito. Los valores de tensión soportados son inferiores al caso anterior debido a que la fuerza que debe soportar es más de 4 veces inferior. Por tanto si en el Caso 1 los resultados están bastante alejados de los límites proporcionados por el material, en este caso los márgenes serán aún mayores.

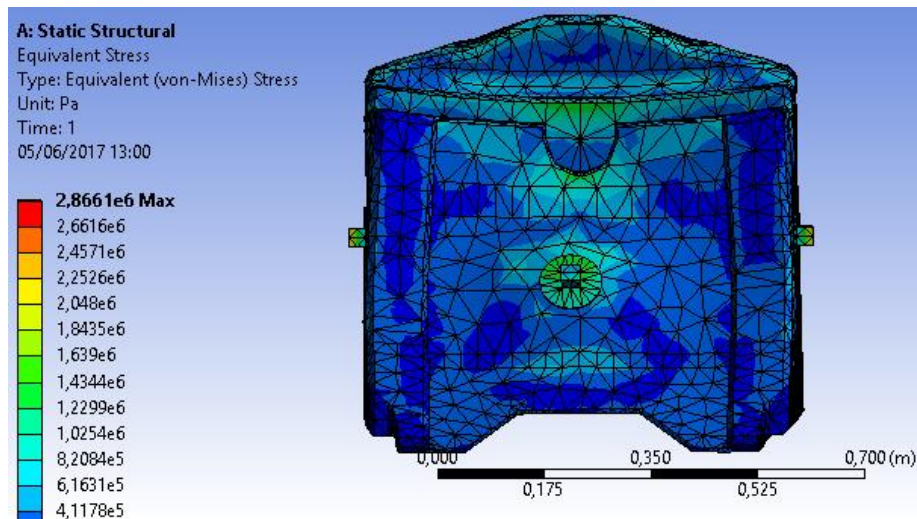


Figura 8.10 Tensión Caso 2. (61)

Se puede observar en la figura 8.11 como los valores más elevados se sitúan en el elemento del anclaje y dando mayor validez a los valores de deformación que se producen en el mismo lugar. El valor máximo de tensión que se produce es 2,8 Mpa. **[16]**

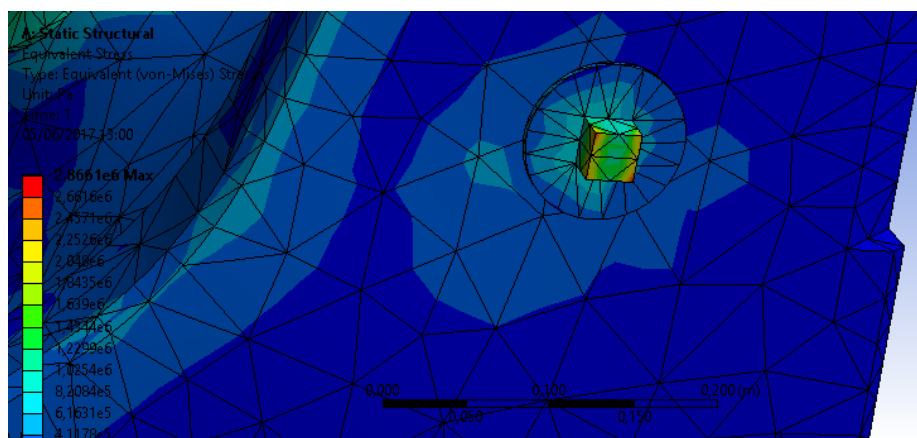


Figura 8.11 Tensión Caso 2: Detalle anclaje. (62)

8.3 Caso 3: Fuerza provocada en el depósito cuando el vehículo realiza un giro hacia la izquierda.

Desplazamiento:

En la figura 8.12 se puede observar que los valores obtenidos en el apartado de desplazamiento son totalmente soportables por el depósito. Y no producirían ninguna deformación permanente en dicho elemento debido a que el valor máximo sería 0,07 mm. Un valor, al igual que los otros resultados, totalmente razonable.

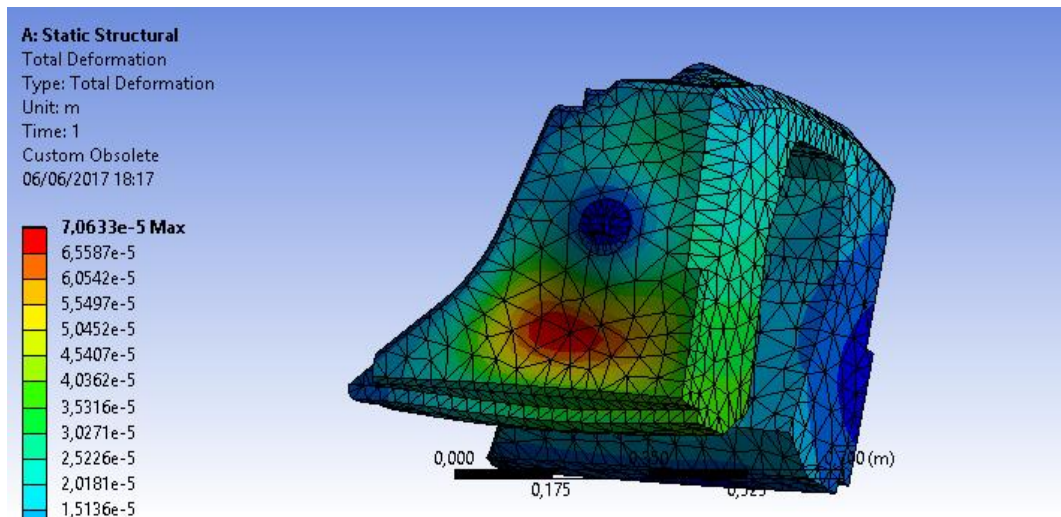


Figura 8.12 Desplazamiento Caso 3. (63)

Deformación:

La máxima deformación posible para estas condiciones es $8,53 \cdot 10^{-3} \%$, muy lejos de la elongación máxima antes de que el comportamiento sea permanente en el acero. El anclaje está compuesto de acero y será el elemento que más tensiones y deformaciones sufra, en los ensayos realizados.

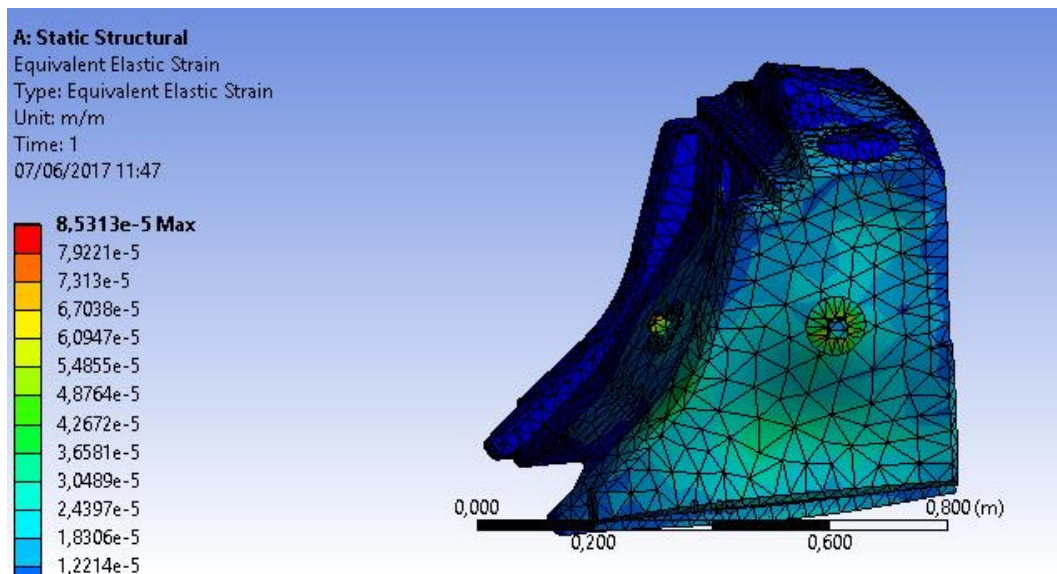


Figura 8.13 Deformación Caso 3. (64)

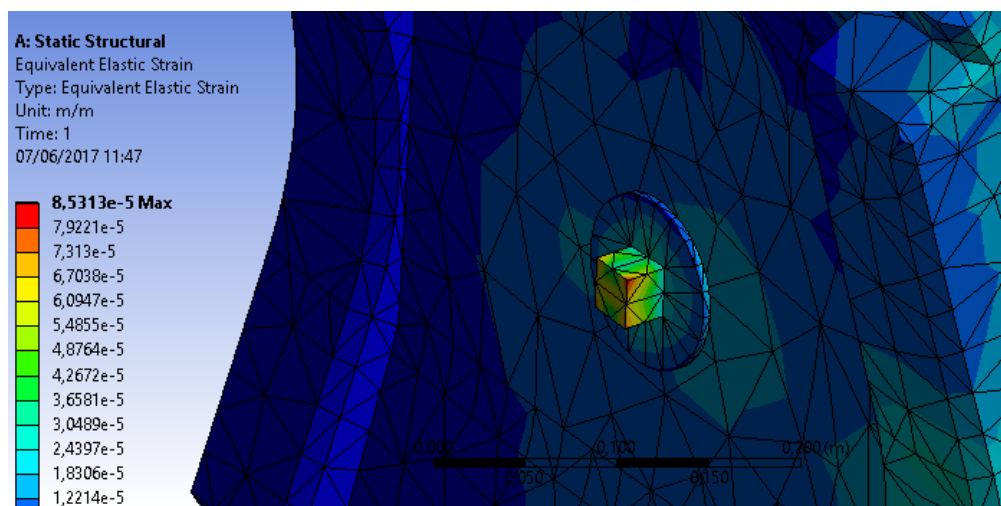


Figura 8.14 Deformación Caso 3: Detalle anclaje C. (65)

Tensión:

La tensión que sufre el depósito para este ensayo es 17 Mpa, bastante cercana al valor máximo producido en el ensayo 1 pero, como se puede observar en la imagen 8.16, en este caso dicha tensión la sufrirá el anclaje situado en la parte frontal de nuestro elemento. Este elemento está compuesto de acero estructural y no existe ningún problema para soportar dicha tensión.

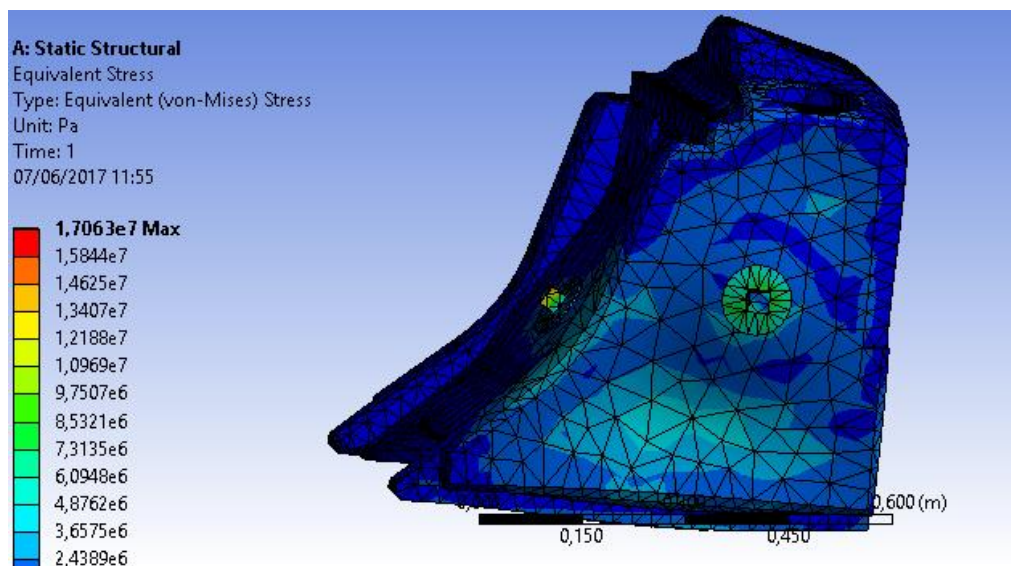


Figura 8.15 Tensión Caso 3. (66)

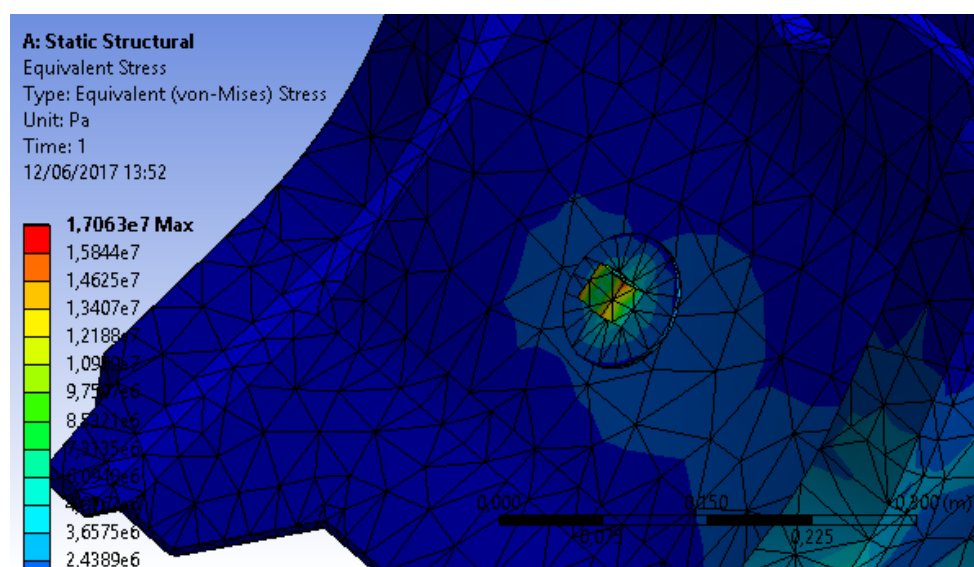


Figura 8.16 Tensión Caso 3: Detalle anclaje C. (67)

8.4 Caso 4: Fuerza provocada en el depósito cuando el vehículo realiza un giro hacia la derecha.

Desplazamiento:

Para finalizar la simulación se debe observar el comportamiento estructural en la última dirección. Se puede ver en la imagen que los valores de desplazamiento son pequeños pero no tanto como los mostrados en el Caso 2, debido a que la fuerza soportada en este caso es algo superior al ejemplo 2. Pero por las condiciones del circuito en el giro hacia la derecha el depósito sufre menos desplazamiento que en el giro hacia la izquierda.

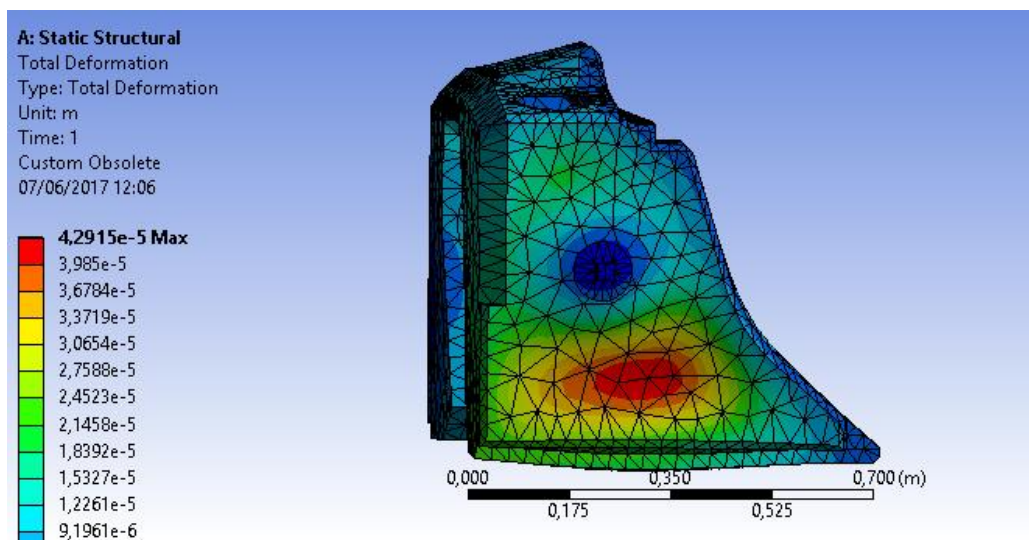


Figura 8.17 Desplazamiento Caso 4. (68)

Deformación:

En la deformación se puede citar que el soporte que está situado en la cara donde sufre la fuerza no sufrirá grandes deformaciones ni soportará altos valores de tensión. Como se ha explicado en los ejemplos anteriores será el soporte C en este caso, donde más se producirá la deformación, siempre con valores permitidos que no producirán ni rotura ni deformación permanente en los elementos.

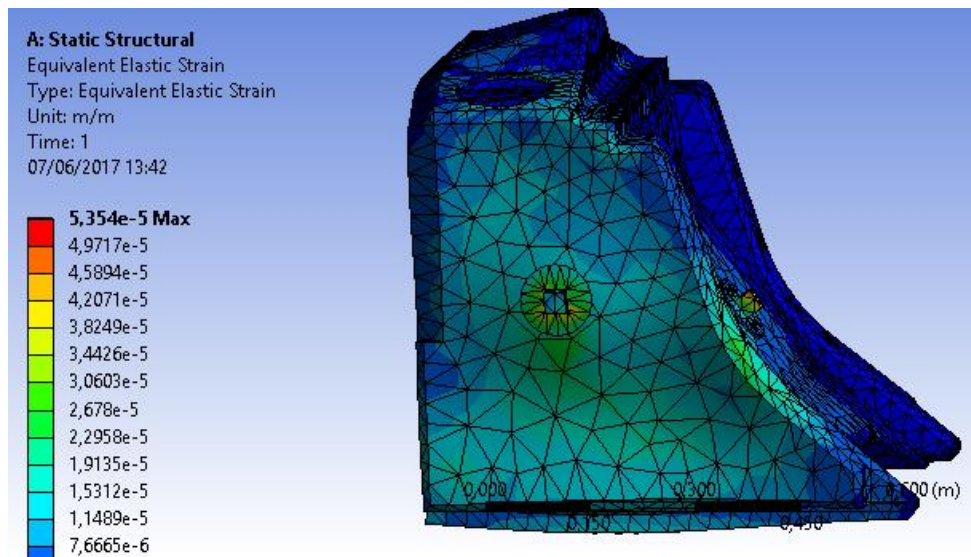


Figura 8.18 Deformación Caso 4. (69)

El anclaje C ejerce una oposición en dirección perpendicular a la fuerza soportada para este ejemplo, por tanto se observa como es el elemento que más tensiones y deformaciones debe soportar. En esta situación valores máximos de 0,053%.

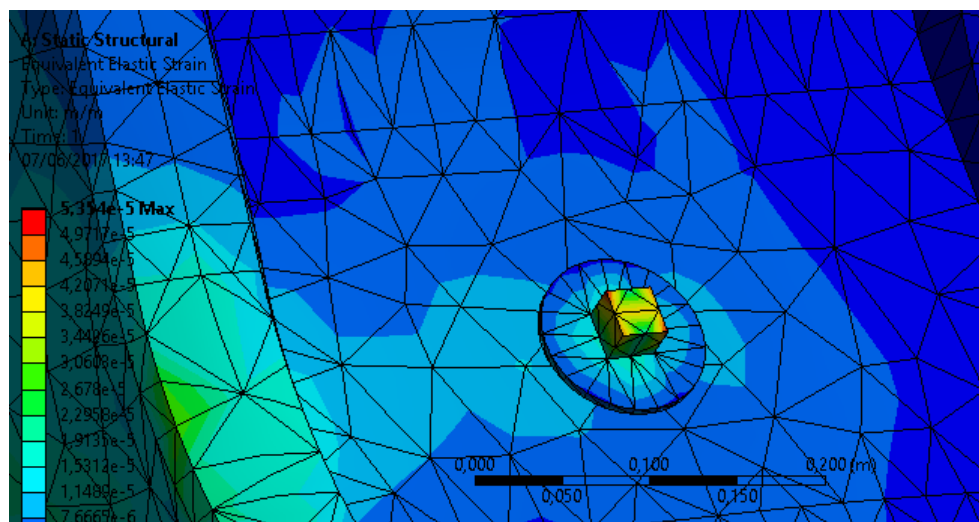


Figura 8.19 Deformación Caso 4: Detalle anclaje C. (70)

Tensión:

La tensión tiene un máximo de 10 Mpa, algo inferior a los ya ejemplos explicados. Y como se ha citado el valor máximo siempre se producirá donde exista la mayor deformación, ambos valores son totalmente irrelevantes para el comportamiento del acero.

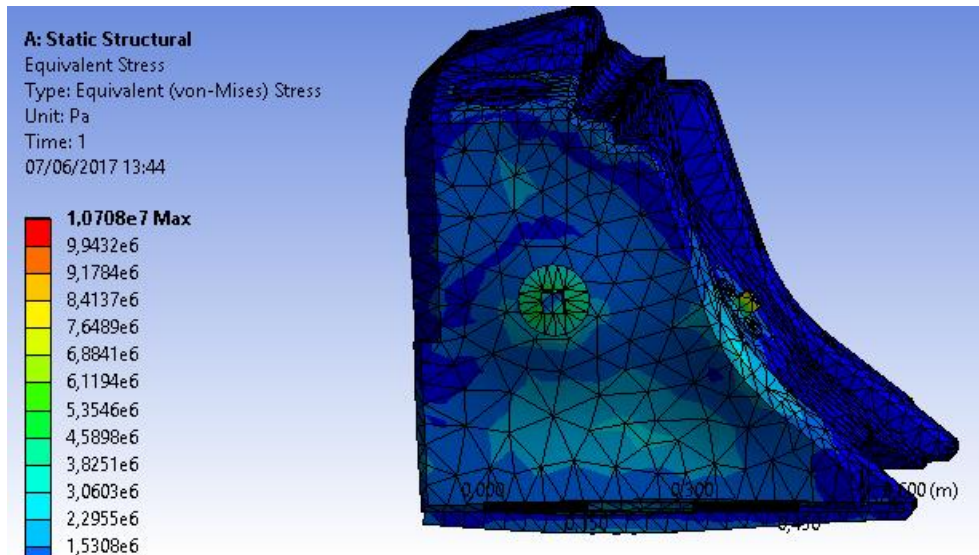


Figura 8.20 Tensión Caso 4. (71)

Para finalizar, se observa como en casos anteriores un comportamiento muy similar frente a la deformación y la tensión sufrida. La imagen 8.21 es muy similar a la 8.19 debido a esta relación tensión - deformación.

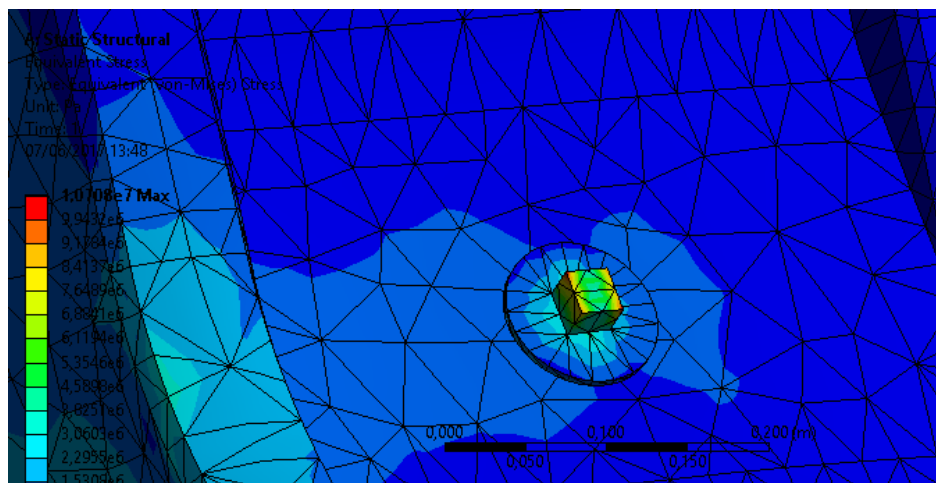


Figura 8.21 Tensión Caso 4: Detalle anclaje C. (72)

9. Presupuesto.

Independientemente que el depósito analizado se llegue a fabricar o no, el estudio de ello acarrea unos costes que forman parte del presupuesto en este proyecto. El coste que se puede observar en la siguiente tabla 9.1, es aquel que solo incluye el estudio de este elemento sin su posterior fabricación. El resultado final económico puede parecer algo elevado, debido a que la compra de licencias suele ser por parte de una compañía que diseñará infinidad de elementos diferentes con funciones totalmente diversas. Por tanto esa parte de amortización de licencias no está teniéndose en cuenta a la hora de valorar el precio final.

<u>Concepto</u>	<u>Cantidad (ud.)</u>	<u>Precio unidad (\$)</u>	<u>Importe final (\$)</u>
Licencia Solid Works anual	1	20.000 €	20.000 €
Mantenimiento Solid Works anual	1	2.530 €	2.530 €
Licencia Ansys anual	1	29.550 €	29.550 €
Mantenimiento Ansys anual	1	5.340 €	5.340 €
Mano obra Solid Works	80	95 €	7.600 €
Mano de obra Ansys	50	85 €	4.250 €

Precio neto	69.270 €
IVA	21%
Total	83.816,70€

Tabla 9.1 Presupuestos del proyecto. (4)

10. Conclusiones.

El objetivo de este proyecto es la implantación del sistema de alimentación en un Fórmula 1. Consiste en: seleccionar aquellos elementos que la FIA tiene aprobados para realizar diferentes funciones (explicadas a lo largo del proyecto, como por ejemplo Bombas Bosch, elementos ATL, sensor Gill), el diseño (Solid Works) y el análisis estructural en el depósito (Ansys).

En el apartado de anexos se aportan las especificaciones de los elementos seleccionados. La parte de la viabilidad del proyecto se considera óptima, debido a que son elementos aprobados por la FIA y más que testados en la práctica.

Aparte de la selección en el caso de las bombas, se realizan unos cálculos más específicos para comprobar los consumos de potencia. Estos cálculos son realizados en el apartado 6, basándose en la teoría del flujo en conductos [9]. Los cálculos realizados se pueden analizar y comprobar si están dentro de las características de diseño y fabricación de la bomba en el anexo correspondiente a las bombas Bosch.

Cabe destacar que la FIA impone una limitación en cuanto al combustible consumido por hora, instalando un sensor de flujo (caudalímetro) que se encarga de que la normativa se cumpla. Por esto, como ya se ha citado, los valores de potencia no son muy elevados; sobretodo en el caso de las bombas de alimentación al colector. Además, con el factor añadido de no existir una gran diferencia de presiones como sí ocurre en el segundo caso.

El depósito, cuya función es almacenar el combustible de la manera más óptima, deberá estar diseñado de manera que, por un lado evite una posible falta de alimentación de las bombas, y por otro, sitúe a la menor altura posible la mayor cantidad de gasolina. Con esto se obtendrá un centro de gravedad más bajo y un mejor comportamiento del vehículo.

En este proyecto se ha diseñado este componente mediante las limitaciones impuestas por la FIA (ubicadas en el apartado de anexos). La referente a este proyecto está traducida, el resto del documento se localiza en la bibliografía. [4]

La empresa ATL [7], encargada de diseñar este elemento, es el lugar del que se ha recopilado información como el material idóneo para el diseño y algunos detalles como por ejemplo, la ubicación de las baterías de los sistemas MGU-K y MGU-H (se colocan en el espacio ubicado en la parte inferior del depósito). También la selección de válvulas en los conductos y en el interior del depósito.

Otro objetivo es el estudio del recorrido del combustible. Existen diversos componentes en el depósito que facilitan la conducción del combustible de la manera más eficaz como por ejemplo, las compuertas de un solo sentido. En el proyecto, se ha explicado el proceso para que el combustible llegue a la parte inferior trasera del depósito en último lugar. A su vez, en este lugar (donde se encuentran las bombas de alimentación) el riesgo que se produzca un vacío en los conductos y una posible falta de alimentación al colector es mucho menor, debido a la reducción del volumen. Otro objetivo de dividir en pequeñas cámaras el espacio interior es limitar los efectos producidos por el movimiento del combustible.

Para finalizar con el diseño interior del depósito, se destaca el uso de “*Baffle Foam*”, para evitar la creación de gases en el interior que producirían un aumento de la presión.

El último objetivo que se estudia en este proyecto es el comportamiento estructural del depósito. Para ello se simulan mediante cálculos [12] los posibles comportamientos que puede sufrir un monoplaza en un circuito. Una vez calculadas las fuerzas se simula su comportamiento.

Para la simulación se ha utilizado el software denominado Ansys. Cabe destacar que la versión utilizada para la realización de este trabajo es académica, lo que provoca una menor exactitud en los resultados. Por ejemplo, el mallado realizado no es muy preciso, debido a que esta versión no soporta el cálculo de resultados con un mallado más complejo.

Los resultados, como se ha citado en apartados anteriores, son viables. Este elemento está diseñado para tener que soportar casos más extremos como un posible impacto del monoplaza. Los límites elásticos de ambos materiales son bastante más elevados que los valores máximos producidos y en cuanto a la deformación, las elongaciones sufridas son irrelevantes en términos de rotura o deformación permanente.

11. Desarrollos futuros.

La realización de este proyecto da lugar a la posible ampliación e incluso estudio más completo del sistema de alimentación en los siguientes ámbitos:

- Comportamiento del fluido en el interior del depósito mediante el uso del software CFD (Dinámica de fluidos computacional). Con este programa se podría realizar un estudio más concreto de la estructura interior del depósito, debido a que se podría saber con exactitud el movimiento del fluido en el interior.
- Estudio de la temperatura, tanto en el fluido como en los componentes del sistema de alimentación y sus posibles variaciones en los cálculos realizados.
- Comparativa más exhaustiva de las fuerzas sufridas en el depósito, tanto la de tracción correspondiente a la fuerza del motor como la fuerza de frenada producida en el sistema de frenos. Este estudio no cambiaría ningún resultado pues, como ya se ha explicado, la fuerza limitante es la producida por la adherencia. No obstante, la realización de dicha comparativa sería más adecuada.
- Estudio más exhaustivo de los componentes electrónicos encargados de calcular el consumo del motor en cada momento, aunque esté limitado siempre con un valor máximo. Y una explicación más detallada de la actuación de las señales eléctricas en las bombas para su funcionamiento.
- Comportamiento del depósito ante un impacto. La posibilidad de realizar un estudio basándose en la simulación de un impacto de un monoplaza en un circuito, analizando la posible viabilidad de los materiales y de las limitaciones de seguridad impuestas por la FIA.
- Considerar diferentes materiales o componentes no aprobados por la FIA para la realización de una posible mejora en el sistema de alimentación.
- Cálculo de vibraciones posibles en el sistema y como afectarían al comportamiento del depósito. Es un estudio interesante debido a la proximidad del motor y del depósito de aceite. Actualmente está siendo un grave problema en el McLaren-Honda de Fernando Alonso.
- Por último, realizar el estudio del sistema de alimentación para un coche convencional y detallar las diferencias en los sistemas estudiados.

12. Bibliografía.

- [1] NOGUEIRA, ISAAC PRADA Y. 2008. *¿Fórmula 1 para todos? Enero-Febrero de 2008.*
- [2] ARIAS-PAZ. 2006. *Manual de automóviles.*
- [3] VIDEO COMPARATIVA DE COMBUSTIBLE. www.youtube.com/watch?v=zubM2PsBJIU
- [4] FIA. 2016. *Technical Regulations 2016. Federation Internationale de l'Automobile.* www.fia.com
- [5] EMPRESA GILL. *Sensores para medir el nivel de combustible.* www.gillsc.com
- [6] BOSCH. *Empresa suministradora de las bombas del sistema.* www.bosch-motorsport.com
- [7] AERO TEC LABORATORIES (ATL). *Diseño del depósito y elementos auxiliares.* www.atlltd.com
- [8] J. MENESES ALONSO, C. ÁLVAREZ CALDAS, S. RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ. 2006. *Introducción al Solid Edge.* Thomson, 2006.
- [9] UC3M, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA TÉRMICA Y FLUIDOS. 2014. *Apuntes de instalaciones y máquinas hidráulicas.* 2014.
- [10] APARICIO IZQUIERDO F. *Teoría de los vehículos automóviles.*
- [11] JOSEP CASTAÑE. *El equipo de competición.*
- [12] UC3M, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA. 2014. *Apuntes de Teoría de Vehículos.* 2014.
- [13] BRIET, TIMOTEO. 2011. *Race Car Technology.*
- [14] SAEED MOAVENI. *Finite element analysis. Theory and application with Ansys.*
- [15] DEJU ZHU. 2016. *Multiscale model of K49 fabric Journal of Composite Materials.* 2016.
- [16] UC3M, DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE ESTRUCTURAS. 2014. *Elasticidad.* 2014.

Anexos.

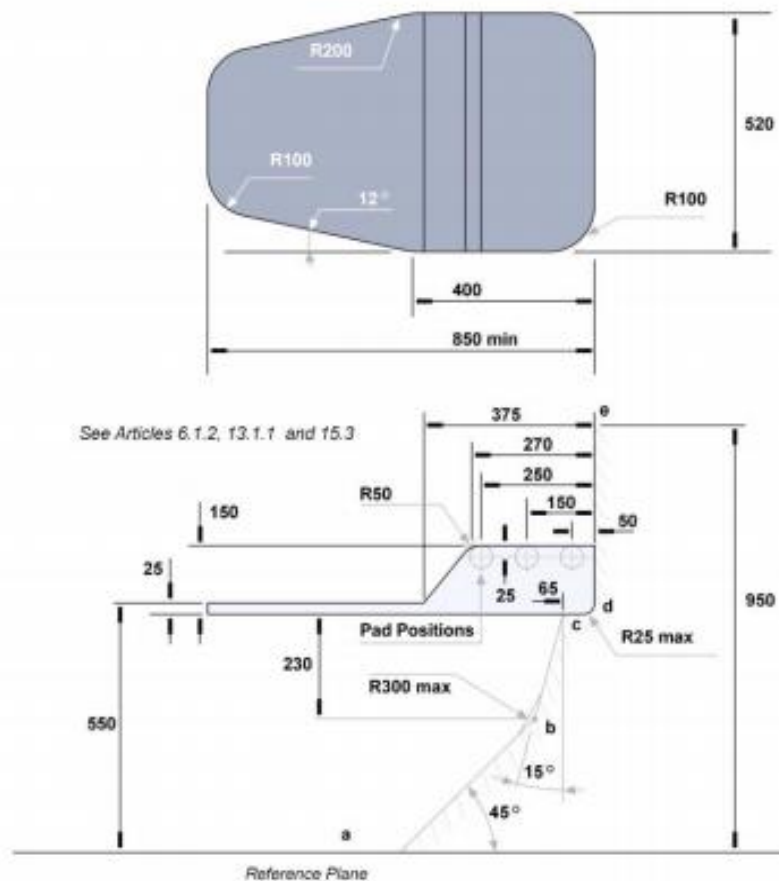
Anexo I: Reglamentación Fórmula 1

Aquellas normas que afectan al proyecto serán traducidas del manual de reglamentación de la fórmula 1 realizado por la FIA. El resto de la reglamentación se podrá encontrar en la bibliografía.

Artículo 3 Dimensiones y limitaciones del diseño del monoplaza

3.6 Altura máxima no puede superar los 950 mm desde el plano de referencia.

Como podemos observar en la imagen a continuación tenemos unas limitaciones en el diseño explicadas en el apartado del diseño de este depósito.



Artículo 5 Unidad de potencia

5.1 El máximo aporte de combustible al motor es de 100 kg/h.

5.10 Sistema de combustible.

Solo estarán permitidas partes que estén aprobadas por la FIA.

5.10.1 El combustible que se suministra a los inyectores no puede superar una presión de 500bar.

5.10.2 Solo puede haber un inyector directo por cilindro y no puede existir ningún otro inyector situado tanto antes de la válvula de admisión como de las válvulas de escape.

5.10.3 Todos los coches deben estar montados con un único sensor de caudal, situado en el interior del depósito. Este sensor solo puede ser manipulado por la FIA

5.10.4 Sensores homologados que miden la temperatura y presión del combustible deben estar fijados y su recopilación de datos debe ser enviada a la FIA.

5.10.5 Cualquier elemento, sistema o dispositivo que su propósito sea incrementar el caudal después de realizar la medida queda totalmente prohibido.

Artículo 6 Sistema de combustible.

6.1 Depósito de combustible

6.1.1 El tanque de combustible debe ser una sola cámara de goma que cumpla las especificaciones de la FIA estándares FT5-1999, en el interior del tanque sin embargo no es obligatorio. Una lista de los materiales puede ser encontrada en la lista técnica número 1 (materiales del tanque de combustible están homologados en base a FT3-1999, FT3.5-1999 Y FT5-1999) en la web de la FIA.

6.1.2 En una vista lateral del depósito, todo el combustible en el interior debe estar situado entre la parte delantera de los dos planos verticales de referencia del artículo 5.3.4 y la línea ab-c en el dibujo 2. Además, el fuel no puede estar situado a una distancia superior a 300 mm del punto "c" en el dibujo 2. Sin embargo un máximo de dos litros puede situarse fuera de la célula, pero solo si es necesario para el funcionamiento del sistema.

6.1.3 Combustible no puede estar situado más de 400 mm del eje longitudinal del coche.

6.1.4 Ninguna cámara de goma se usara si la fecha de fabricación es superior a 5 años.

6.2 Equipamiento y canalización

6.2.1 Todas las aberturas en el tanque de combustible deben estar cerradas por trampillas o accesorios los cuales son fiables. El área total de cualquiera de estos accesorios no puede superar los 30.000mm².

6.2.2 Todas las canalizaciones del combustible entre el depósito y el motor debe tener una válvula de seguridad. Esta válvula debe separar al menos la mitad de la cantidad de combustible que transporte la tubería.

6.2.3 Ninguna tubería que contenga combustible puede pasar a través de la cabina

6.2.4 Todas las tuberías deben estar montadas de manera que ninguna fuga pueda provocar una acumulación de combustible en la cabina.

6.2.5 Todos los componentes que contengan combustible a una presión superior a 10bar deben estar situados fuera del depósito.

6.3 El depósito de combustible debe estar completamente rodeado por una estructura resistente al impacto, la cual forma parte de la célula de supervivencia y debe ser capaz de soportar las cargas requeridas de los test en los artículos 18.2.1 y 18.3

6.4 El sistema de alimentación del depósito no puede sobresalir de la estructura del vehículo. Cualquier toma de aire conectada con el depósito debe estar diseñada para evitar una pérdida cuando el coche esté en funcionamiento y no puede estar situada a más de 250 mm de la apertura de cabina. Estos elementos deben estar diseñados para poder cerrarse en caso de impacto y así evitar una posible fuga de combustible.

6.5 Retorno de combustible

6.5.1 Una cubierta debe ser montada en cada tubería de retorno. La cubierta y sus uniones deben ser suficientemente fuertes para evitar una fuga en caso de accidente.

6.5.2 No puede usarse una temperatura inferior a 10 grados la temperatura ambiente en el combustible.

6.5.3 El uso de cualquier dispositivo, en el coche, para reducir la temperatura del combustible está prohibido.

6.6 Combustible drenado y analizado

6.6.1 Competidores deben suministrar una muestra del combustible restante en el coche.

6.6.2 Competidores deben asegurarse que como mínimo un litro del combustible debe ser entregado durante cualquier momento del evento.

6.6.3 Todos los coches deben tener dos tomas simétricas de combustible en orden de facilitar el muestreo. Si se encuentra una bomba eléctrica a bordo del coche, no puede ser usado para extraer el combustible. Si una bomba externa es usada debe ser posible conectar la manguera de la FIA y cualquier manguera usada no puede superar los dos metros de longitud. Detalles de la manguera de muestro pueden ser encontrados en el apéndice de regulaciones técnicas.

6.6.4 La recogida de la muestra de combustible no necesita de su puesta en marcha ni de quitar cualquier parte del coche.

Artículo 19 Combustible

19.1 Propósito del artículo

19.1.1 El propósito del artículo es asegurarse de que el combustible usado en formula 1 es gasolina como se entiende este término.

19.1.2 Los detalles requeridos en este artículo son con la intención de asegurar el combustible este compuesto de los componentes que normalmente contiene la gasolina comercial y prohibir el uso de componentes químicos para un extra de poder. Los componentes aceptados y sus clases se encuentran definidos en el 19.2 y 19.4.3. Además, para cubrir el bajo nivel de impurezas y elementos expulsados al exterior el 19.2 y el 19.4.3 definiciones son limitadas a un 1% máximo m/m del total del combustible.

19.1.3 Cualquier combustible el cual sea formulado para evitar este propósito de la normativa, deberá ser retirado.

19.2 Definiciones Parafina- cadena directa y alcanos. Olefinas- cadena directa .Monocíclico mono olefinas (con cinco o más átomos de carbono en el anillo). Di-Olefinas cadena directa o ramificada o monociclo de hidrocarburos (con cinco o más átomos de carbono en el anillo) con o sin cadenas laterales de parafina., contienen el doble de enlaces por molécula. Monocíclico de alcanos (con cinco o más átomos de carbono en el anillo) con o sin cadenas lateras de parafina. Aromáticos- mono cíclico y bici clico de anillos aromáticos con o sin parafina o cadenas laterales de olefinas. Bi componentes- Parafinas, olefinas, di-olefinas, aromáticos y oxigenados, se definen como derivados en total o en parte de orígenes biológicos. Por el propósito de cuantificación, la contribución del bio-componente de la molécula dada es definida como carbono, hidrogeno y átomos de oxigeno de origen biológico como el porcentaje total de la molécula. La contribución del bio-componente en el torrente producido es determinado como bio feedstock porcentaje de masa/ base masa.

19.3 Propiedades: El único combustible permitido es aquel que tenga las siguientes características.

Propiedades unidades min y max método de prueba. (RON+MON)/2 87.0 ASTM D 2699/D 2700 Oxígeno wt% 3.7 Análisis elemental Nitrógeno mg/kg 500 ASTM D 5762 Benceno wt% 1.0 GC-MS DVPE kPa 45 60(1) EN13016-1 Lead mg/l 5 ASTM D 3237. Oxidación estable minutos 360 ASTM D 525 sulfuro mg/kg 10 EN ISO 20846.

Conductividad eléctrica pS/m 200 ASTM D 2624 Punto final de ebullición 210 ISO 3405 Destilación residual %v/v 2.0 ISO 3405 (1) EL máximo DVPE puede alcanzar los 68kPa si un mínimo de 2% de bio metanol y/o bio etano está incluido en el combustible. El combustible será aceptado o rechazado acorde a con la tolerancia limitada al 95%.

19.4 Composición del combustible

19.4.1 La composición del combustible debe cumplir con los detalles explicados a continuación: Unidades máximas y mínimas de los componentes Aromáticos wt% 40* GCMS. Olefinas wt% 17* GCMS. Total de di-olefinas wt% 1.0 GCMS. Total de alcalino y derivados wt% 1.0 GCMS. El fuel no debe contener ninguna sustancia la cual es capaz de crear una reacción exotérmica en ausencia de oxígeno externo.

19.4.2 El total de los componentes individuales de hidrocarburos presentes en la concentración debe ser menos del 5% del total del combustible.

19.4.3 Solo los oxigenados permitidos son parafina mono-alcoholes y parafina mono éteres con un punto de ebullición por debajo de 210°C.

19.4.4 Un mínimo de 5,75% (m/m) del combustible es de Bio-componentes.

19.4.5 Inicialmente los Bio-componentes son restringidos a los oxigenados. Sin embargo, Hidrocarburos y oxigenados o mezcla de estos, los cuales han sido producidos por biomasa, deben ser incluidos en formula 1 como parte del 5,75% bio componentes. Estos se usan en el combustible de fórmula 1 dependa de los indicativos de prueba que usa el suministrador.

19.4.6 Manganeseo basado en aditivos no está permitido

19.5 Aire: solo aire ambiente puede ser mezclado con el combustible como un oxidante.

19.6 Seguridad:

19.6.1 todos los competidores deben estar en posesión del material de seguridad para cada tipo de combustible usado. Este material esta hecho en acuerdo con EC Directive 93/112/EEC y toda la información contenida está estrictamente añadida en ese acuerdo.

19.7 Combustible aprobado:

19.7.1 Antes de usar cualquier combustible en un evento debe ser separa en dos muestras de 5L, en los depósitos adecuados, deben ser comprobados por la FIA.

19.7.2 Ningún combustible debe ser usado sin la autorización por escrito de la FIA.

19.8 Muestras y pruebas en un evento:

19.8.1 Todas las muestras deben ser tomadas en acuerdo con la el proceso de la FIA.

19.8.2 Densidad del combustible debe ser comprobada y debe estar dentro del 0,25% de diferencias de las pruebas del análisis realizadas.

19.8.3 Muestras de combustibles tomadas durante la carrera deben ser comprobadas mediante la técnica de gas cromatográfico, la cual compara la muestra tomada con la aprobada.

19.8.4 GC valores máximos de la muestra son comparados con los obtenidos en las referencias del combustible. El incremento de estos valores máximos son mayores del 12% o la cantidad absoluta es mayor que 0,10% para componentes presentan concentraciones por debajo del 0,8%, no serán aptos para competir.

GSlevel - 4174

Industrial Liquid Level Sensor

GILL**Key Features**

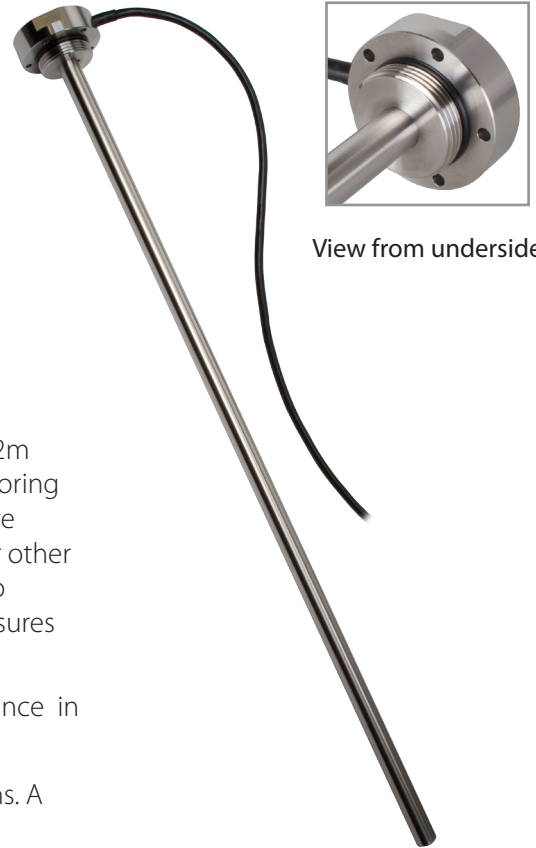
- Suitable for use with water, saline, fuels, oils and chemicals
- 316 Stainless Steel construction
- 0-10V configurable analogue output with reserve level switch
- SAE 5-Bolt & 1½" UNF thread mount housing
- High Accuracy $\pm 2\%$
- -40°C to +125°C operating temperature range
- Factory Calibrated
- No moving parts for high reliability

The **GSlevel** industrial specification Liquid Level Sensor is available up to 2m long and is designed specifically for industrial environments where monitoring of a variety of liquid types is required. The sensor uses solid-state capacitive technology to sense the level of the liquid, with no moving parts, floats or other mechanical linkages to provide excellent long term reliability. Designed to operate at extreme operating temperatures, the industrial level sensor ensures high reliability in harsh industrial environments from -40°C to +125°C.

Built from 316 stainless steel, the level sensor will provide corrosion resistance in harsh environments.

The sensor features both SAE 5-Bolt and 1½" UNF thread mounting options. A flange gasket and O-ring seal are supplied with each unit.

Gill Sensors & Controls quality control ensures that every **GSlevel** sensor is factory calibrated with temperature compensation to provide market leading accuracy of liquid level measurement.



View from underside

RoHS 
Compliant**ELECTRICAL**

Supply Voltage	5 to 32V
Supply Current	<10mA @ 12VDC
Reverse polarity	Indefinitely

CONNECTION

Cable	20 AWG TYPE 44, DR25
Cable tail length	1000mm

ANALOGUE OUTPUT

Factory Calibrated Output	0.25V - 4.75V over max measurement range
Maximum Output Range	0.25V - 10.0V over max measurement range
Range Accuracy	$\pm 2\%$ Full Scale Deflection (20°C)
Switch Output	Open Collector Output 50V / 1A max Switch to ground (V-)

MECHANICAL

Construction Materials	Stainless Steel 316, FEP, PEI
Probe Length (Dim X)	100mm to 2000mm (in standard increments)
Mounting	SAE 5-bolt pattern & 1½" UNF threaded
Weight	From 300g (dependent on length)

ENVIRONMENTAL

Ingress Protection	IP66, IP68
Thermal Shock	EN60945
Operating temperature	-40°C to +125°C
Humidity	93% RH at 40°C EN60945
Corrosion resistance	Stainless steel 316 construction
Vibration	EN60945
Pressure	10 Bar (differential & absolute)
Seal Material	Nitrile (O-ring & Gasket)
Electrical Power Characteristics	MIL - STD 704 E

COMPATIBLE LIQUIDS

Fuel	Gasoline, Unleaded, LRP, Diesel
Water	Fresh water, Saltwater, Ethylene Glycol, Please consult Gill for other liquid compatibilities.

Sensor requires probe support for lengths beyond 650mm.
Specifications subject to change without notice.

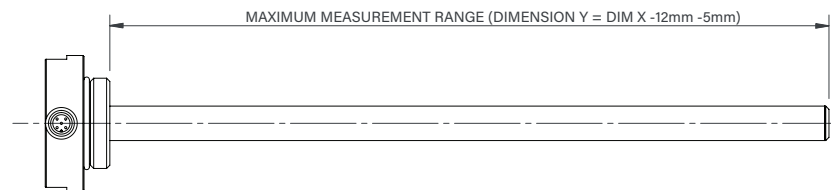
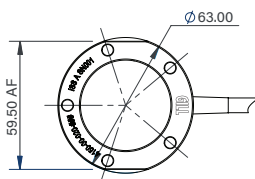
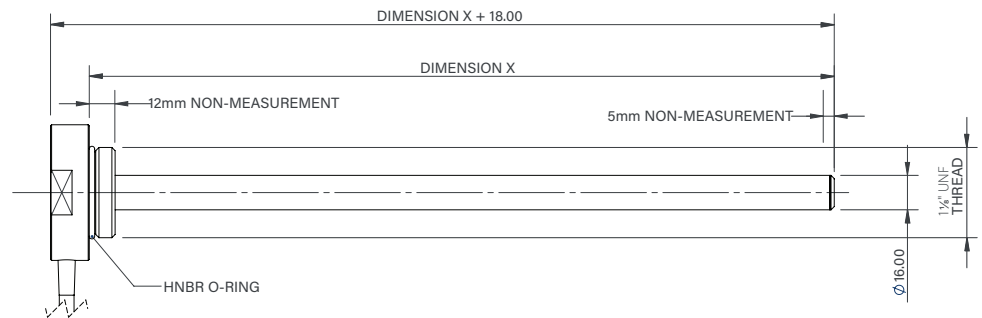
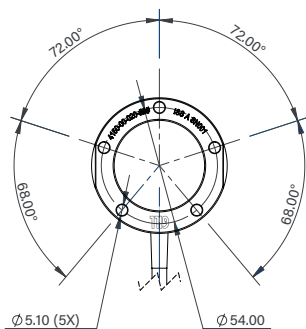
WIRING

Red	V+ (Power)
Black	V- (GND)
Yellow	Analogue signal 0.25V to 4.75V
Green	Serial Rx
White	Serial Tx
Orange	Switch (Open Collector Output)
Screen	

PART NUMBERS

4174-00-040-X	
Length X (mm)	Standard increments
100 - 300	25mm
350 - 1000	50mm
1100 - 2000	100mm

Dimension X is customer specified in standard lengths as above



Sensor supplied with O-ring & gasket

Specifications subject to change without notice.

GILL

Gill Sensors & Controls Limited

Unit 600 Ampress Park
Lymington, Hampshire
SO41 8LW

Tel: +44 (0) 1590 613 900
Fax: +44 (0) 1590 613 901
info@gillsc.com



gillsc.com

LD4174 - Iss 4

Copyright © Gill Sensors & Controls 2015

Gill Sensors & Controls Limited, Reg No. 08982641
Registered Office: The George Business Centre, Christchurch Road, New Milton, BH25 6QJ

FLOW MEASUREMENT

Measurement Range	+/- 8000ml/min
Flow Measurement Rate	2.2 kHz internal measurement rate CAN outputs at 100Hz, With filtering (1)
Flow Pressure Loss	ISOPAR C: 5kPa@2000ml/min, 16kPa@4000ml/min. LM24 Diesel: 75kPa@8000ml/min. All at 25°C

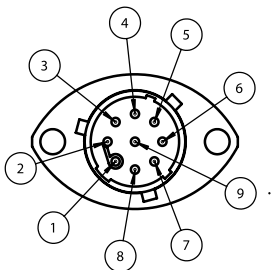
TEMPERATURE MEASUREMENT

Measurement Type	2 x PT-1000 immersed sensors at fuel inlet and outlet
------------------	---

ELECTRICAL

Supply Voltage	4.75VDC – 22.0VDC
Supply Current	<100 mA @12-17VDC <180mA @4.75-5.5VDC
Supply Voltage Protection	Reverse polarity -38V Over voltage 58V No surge clamping

CONNECTION

Pin	Function	Connector Pin Numbers
1	Supply (+)	 <p>ASDD006-09-PD-FI-952K</p>
2	CAN High 1 (CANH1)	
3	CAN Low 1 (CANL1)	
4	Do not connect	
5	Do not connect	
6	RS-485 (A)	
7	RS-485 (B)	
8	CAN ID select resistor	
9	Ground (-)	

CONFIGURATION INTERFACE

Interface Type	RS-485 Half-Duplex (2-Wire) with networking. Encrypted. No termination.
----------------	---

ENVIRONMENTAL

Storage Temperature	-40°C to +85°C
Operating Temperature	-20°C to +85°C (2)
Environmental Protection	IP68, 300kPa for 2 hours in water (excluding electrical connector) (3) (4)
EMC	Not rated
External Pressure Rating	300kPa (excluding connector) (3)
Intrinsic Safety Rating	None. Not IS rated by design.



CAN COMMUNICATIONS

Design Standard	ISO 11898-2 (High Speed Applications)
Message Format	2.0A (11 bit identifier)
Baud Rate	1Mbit/sec
Base Message ID	0x190 to 0x193
'Multiple Fit' Message IDs (5)	0x190 to 0x193 22k 0x194 to 0x197 5k6 0x198 to 0x19B 1k8 (6)
CAN Termination	None

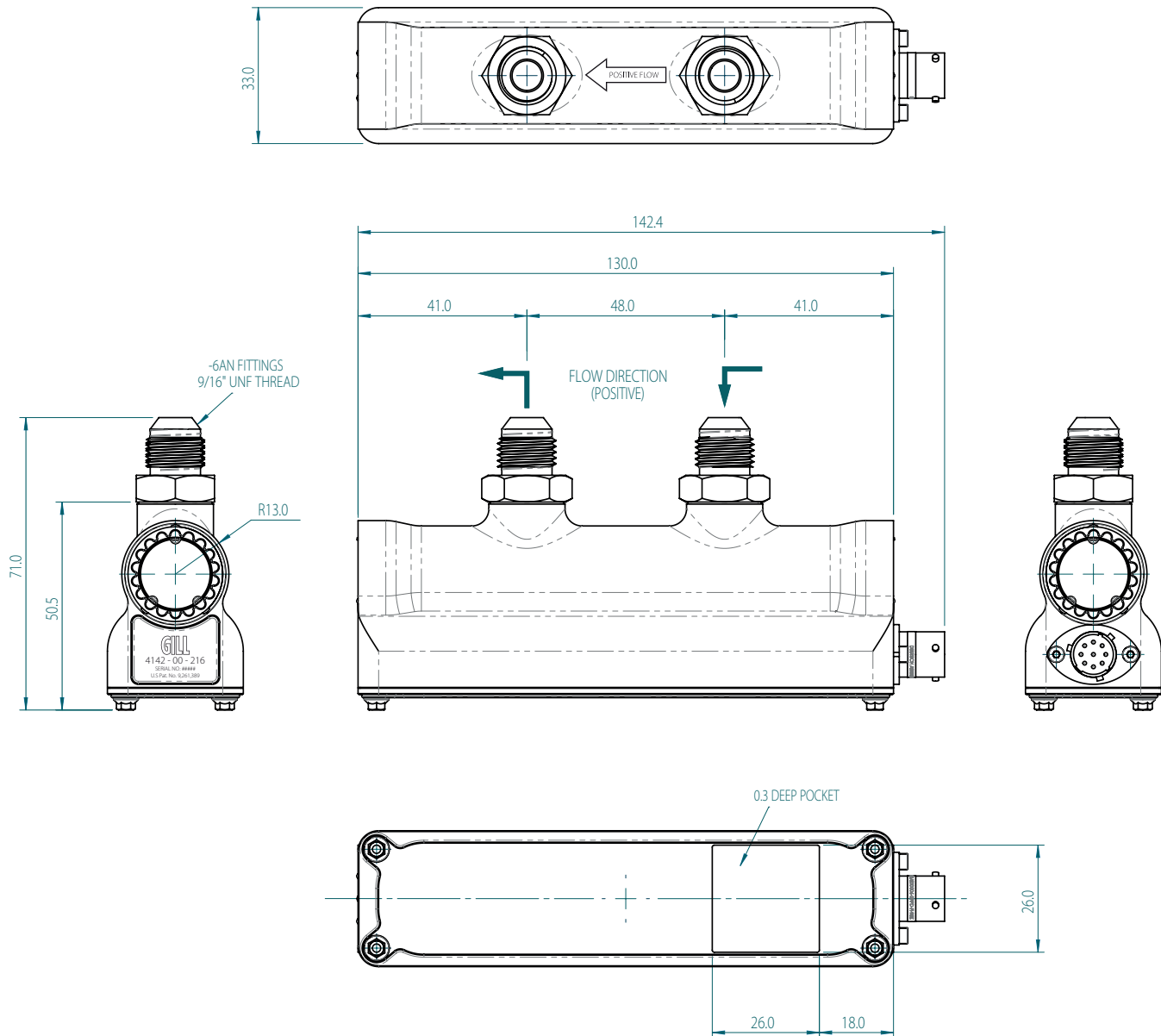
MECHANICAL

Mass	235g dry
Fuel Volume	11ml
Wetted Materials (7)	Aluminium alloy anodised to ISO 7599 PTFE, PEEK *
Meter Connector	Deutsch ASDD006-09-PD-FI-952K
Mating Connector	Deutsch ASDD606-09-SD-FI-952K
Fuel Compatibility	Petroleum, Diesel, Bio Fuels, Race Fuels (LM24 Petroleum, LM24 Diesel, F1 Petroleum Blends)
Fuel Pressure	50kPa to 2000kPa operating, 6000kPa survival (8)

- (1) Output availability is subject to calibration procedure.
- (2) Limited by some electronic part ratings. All internal materials in contact with fuel are rated at 110°C.
- (3) See manufacture's specification for electrical connector rating.
- (4) Design Standard.
- (5) "Multiple Fit" is a configurable feature which allows meters to be dynamically allocated a CAN base ID through the use of different resistor values across Pin 8 and 9.
- (6) Resistor: maximum 3V applied, typically fitted within the mating connector.
- (7) Internal materials in flow path excluding fuel connector/union.
- (8) Cavitation and entrained gas can cause meter damage and spurious measurement results, this must be avoided by appropriate system design and flow meter operation.

Part Number: 4142-00-016

Order Code: 4142-PK-016



GILL

Gill Motorsport Systems Limited

Unit 600 Ampress Park
Lymington, Hampshire
SO41 8LW

Tel: +44 (0) 1590 613 900
Fax: +44 (0) 1590 613 901
info@gillsc.com



gillsc.com

FD4142 - M - Iss 8

Copyright © Gill Motorsport Systems Limited 2015

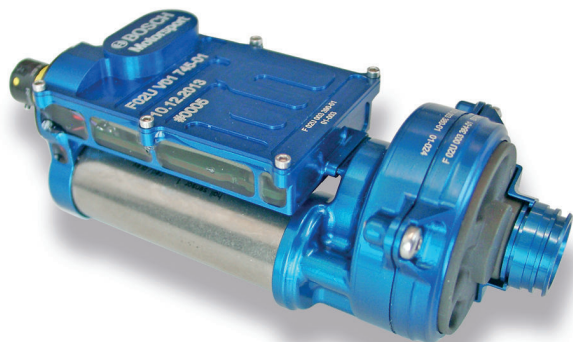
Gill Motorsport Systems Limited, Reg No. 8800432
Registered Office: The George Business Centre, Christchurch Road, New Milton, BH25 6QJ

Fuel Pump LPx-F1

www.bosch-motorsport.com



BOSCH
Invented for life



- ▶ > 160 l/h at 7 bar (g)
- ▶ 325 g
- ▶ Max. 8 bar (g)
- ▶ Brushless motor
- ▶ PWM speed controlled

The fuel pump LPx-F1 was developed to feed the high pressure fuel pumps. It is for in tank installation. The speed controller is integrated and needs a PWM signal from the ECU. The supply voltage is 48 V.

Application

Fuel pressure	< 8 bar (g)
Delivery rate at 22°C	> 160 l/h at 7 bar (g) (120 W)
Max. delivery rate	> 260 l/h
Max. temperature fuel	65°C
Max. ambient temperature	80°C
Storage temperature range	-40 to 70°C
Max. vibration	See vibration profile 1
Max. dry run time	< 5 min
Duration for pressure build up	< 200 ms from (0 ... 160 l/h at 8 bar abs at T _{fuel} = 65°C)
Fuel compatibility	Gasoline, more on request

Technical Specifications

Mechanical Data

Pump	50 (25) mm x 125 mm
Electronic	47 x 60 x 20 mm
Weight	325 g
Housing	Aluminum
Sucking/intake side	Open pump element
Pressure side	M12x1

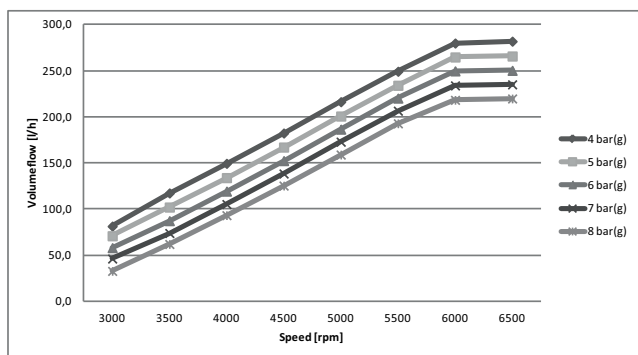
Electrical Data

Supply voltage	48 V ± 2 V
Load current	See diagrams
Speed control	PWM

Characteristic

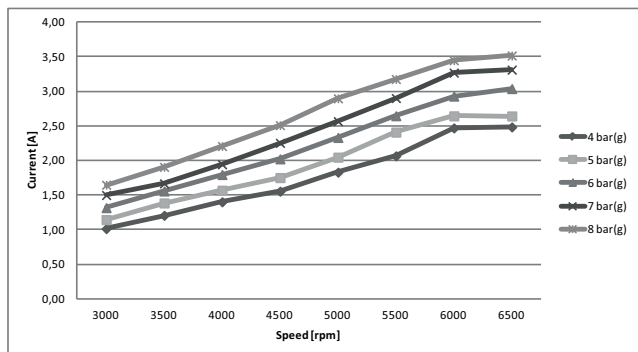
Surface coating	Anodization
Color	Blue
Non-return valve	External
Fuel filtering	Possible both sides

Volume flow



Pump speed [rpm]	Pressure [bar(g)]					
	4 bar(g)	5 bar(g)	6 bar(g)	7 bar(g)	8 bar(g)	
3000	81,3	70,8	58,0	46,1	32,7	l/h
3500	117,3	102,0	87,2	73,8	61,9	l/h
4000	149,4	133,9	119,3	105,2	93,2	l/h
4500	182,2	167,0	152,3	138,3	125,2	l/h
5000	216,2	200,7	186,5	172,8	158,9	l/h
5500	249,2	234,0	220,1	206,4	192,8	l/h
6000	279,8	264,7	249,6	233,9	218,2	l/h
6500	281,8	265,8	250,2	235,0	219,7	l/h

Current



Pump speed [rpm]	Pressure [bar(g)]					
	4 bar(g)	5 bar(g)	6 bar(g)	7 bar(g)	8 bar(g)	
3000	1,01	1,14	1,32	1,50	1,65	A
3500	1,21	1,39	1,56	1,67	1,91	A
4000	1,40	1,57	1,80	1,94	2,21	A
4500	1,55	1,75	2,02	2,25	2,51	A
5000	1,83	2,05	2,33	2,57	2,90	A
5500	2,07	2,41	2,65	2,90	3,18	A

6000	2,47	2,64	2,93	3,27	3,45	A
6500	2,48	2,64	3,04	3,31	3,52	A

Connectors and Wires

Electrical connector	ASL 0-06-05PA-HE-952K
Electrical matting connector	on request
Pin 1	U _{batt} (48 V, 3 A)
Pin 2	PGND
Pin 3	Nc
Pin 4	PWM_IN (10 Hz to 5 kHz, 10–90 % = 0 ... 7,000 rpm pump speed)
Pin 5	SIG_OUT (optional)
Mechanical connector intake side	open
Mechanical connector pressure side	M12x1

Installation Notes

Fuel compatibility with F1 gasoline fuel.

For technical reasons the values may vary.

Please use within the specified limit values only.

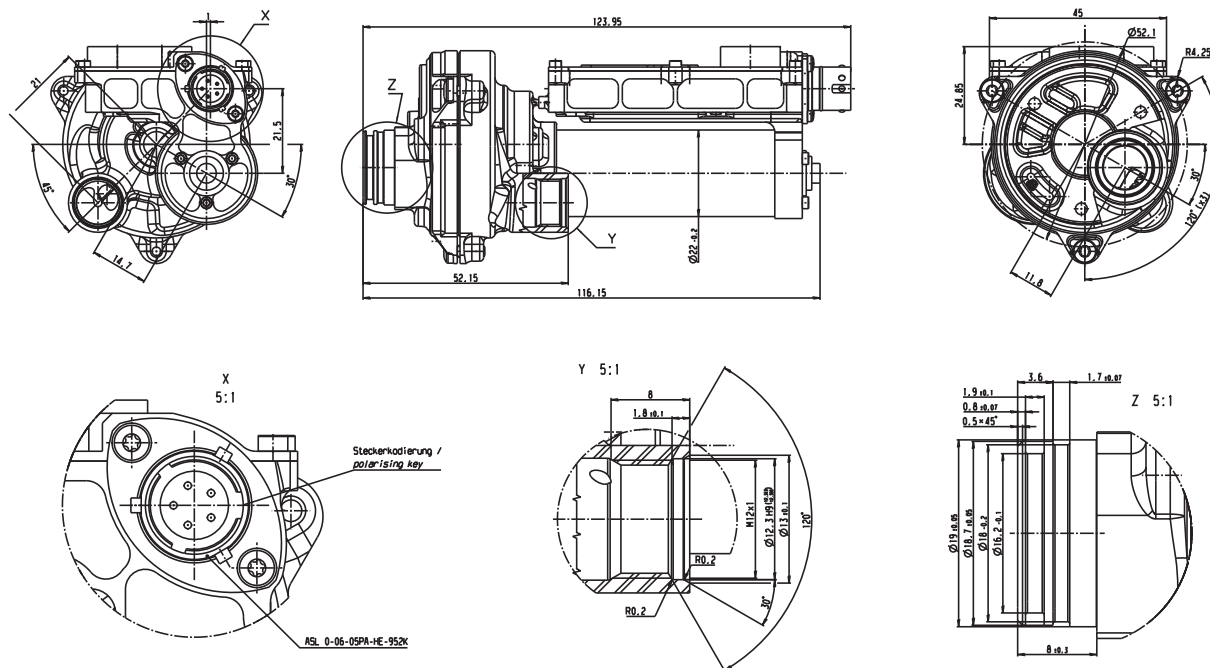
Please find further application hints in the offer drawing at our home-page.

Ordering Information

Fuel Pump LPx-F1

Order number **F 02U V01 745-02**

Dimensions



Represented by:

Europe:
Bosch Engineering GmbH
Motorsport
Robert-Bosch-Allee 1
74232 Abstatt
Germany
Tel.: +49 7062 911 9101
Fax: +49 7062 911 79104
motorsport@bosch.com
www.bosch-motorsport.de

North America:
Bosch Engineering North America
Motorsport
38000 Hills Tech Drive
Farmington Hills, MI 48331-3417
United States of America
Tel.: +1 248 876 2977
Fax: +1 248 876 7373
motorsport@bosch.com
www.boschmotorsport.com

Latin America:
Robert Bosch Ltda
Motorsport
Av Juscelino Kubitschek de
Oliveira 11800
Zip code 81460-900
Curitiba - Parana
Brasilia
Tel.: +55 41 3341 2057
Fax: +55 41 3341 2779

Asia-Pacific:
Bosch Engineering Japan K.K.
Motorsport
18F Queen's Tower C, 2-3-5 Minato Mirai
Nishi-ku, Yokohama-shi
Kanagawa 220-6218
Japan
Tel.: +81 45 650 5610
Fax: +81 45 650 5611
www.bosch-motorsport.jp

Australia, New Zealand and South Africa:
Robert Bosch Pty. Ltd
Motorsport
1555 Centre Road
Clayton, Victoria, 3168
Australia
Tel.: +61 (3) 9541 3901
motor.sport@au.bosch.com

HP Fuel Pump HDP 5-LW

www.bosch-motorsport.com



BOSCH
Invented for life



- Max. 500 bar
- Max. $1.1 \text{ cm}^3/\text{rot}_{\text{cam}}$
- Integrated Flow Control Valve
- Internal Pressure Relief Valve
- 585 g

The HDP 5-LW is a compact high pressure single piston pump with a light weight housing. The design allows achieving a big delivery volume as well as high efficiency, as needed in motorsport applications. Modifications in the number of cam lobes and cam lifts allow different flow requirements to be addressed. The HDP 5-LW is equipped with an internal pressure relief valve to limit the maximum fuel pressure. This pump does not require a fuel return line into the fuel tank.

The pump has an integrated demand control for metering the amount of fuel supplied into the high pressure fuel system. It can be ordered with a compact connector or a motorsport connector.

Depending on the requirements of your engine (e.g. fuel consumption over rotation ratio) we recommend different types of tappets, piston springs and cam profiles. Please notice: Fuel delivery and maximum drive-shaft speed depend on cam profile and type of tappet.

Application

For high pressure manifold injection or gasoline direct injection

Technical Specifications

Mechanical Data

Mass flow	Please see extra sheet
Efficiency	Please see extra sheet
Body design	Lightweight
Flow capacity and max. engine speed	Depending on cam profile
Nominal pressure	500 bar or customization

Possible customization

Rev C (EVO)	= Rev B + reduced internal restrictions + introduction of EVO parts (outlet valve)
Rev D (Piston)	= Rev C + bigger piston diameter
Flange hole circle diameter	66 mm or 75 mm
Flange orientation	Free
Electrical connector orientation	0° or customization

Hydraulic connection design	M14 x 1.5 or customization
Weight	Approx. 585 g
Supply pressure	4 to 7 bar
Operating temperature	-40 to 120°C
Storage temperature	-40 to 70°C
Compatible fuels	Unleaded fuels, E22, E85, M15
Fuel temperature	80°C, short term 130°C
Max. vibration	300 m/s ²

Connectors and Wires

Electrical connector design	Series wire + compact connector
	Series wire + motorsport connector
	Motorsport wire + open end
	Motorsport wire + motorsport connector
Hydraulic connection orientation	Fixed

Installation Notes

Mounting on cylinder head or adapter flag.

Available cam profiles on request.

Select the cam profile on fuel consumption requirements.

Avoid interference with FCV and hydraulic connections at flange orientation.

Avoid interference with flange at electrical connector orientation.

Please specify the electrical connector design and the wire length with your order.

Ordering Information

Rev B (iPRV)

Order number **on request**

Rev C (EVO)

Order number **on request**

Rev D (Piston)

Order number **on request**

Accessories

Flat tappet (26 mm)

Order number **F 02U V01 156-01**

Roller tappet (26 mm)

Order number **F 02U V01 163-01**

Represented by:

Europe:

Bosch Engineering GmbH
Motorsport
Robert-Bosch-Allee 1
74232 Abstatt
Germany
Tel.: +49 7062 911 9101
Fax: +49 7062 911 79104
motorsport@bosch.com
www.bosch-motorsport.de

North America:

Bosch Engineering North America
Motorsport
38000 Hills Tech Drive
Farmington Hills, MI 48331-3417
United States of America
Tel.: +1 248 876 2977
Fax: +1 248 876 7373
motorsport@bosch.com
www.bosch-motorsport.com

Latin America:

Robert Bosch Ltda
Motorsport
Av Juscelino Kubitscheck de
Oliveira 11800
Zip code 81460-900
Curitiba - Parana
Brasilia
Tel.: +55 41 3341 2057
Fax: +55 41 3341 2779

Asia-Pacific:

Bosch Engineering Japan K.K.
Motorsport
18F Queen's Tower C, 2-3-5 Minato Mirai
Nishi-ku, Yokohama-shi
Kanagawa 220-6218
Japan
Tel.: +81 45 650 5610
Fax: +81 45 650 5611
www.bosch-motorsport.jp

Australia, New Zealand and South Africa:

Robert Bosch Pty. Ltd
Motorsport
1555 Centre Road
Clayton, Victoria, 3168
Australia
Tel.: +61 (3) 9541 3901
motor.sport@au.bosch.com